



# La feinte de corps au rugby : déterminants biomécaniques, processus de détection et action de défense : pourquoi l'expert est-il meilleur ?

Sébastien Brault

## ► To cite this version:

Sébastien Brault. La feinte de corps au rugby : déterminants biomécaniques, processus de détection et action de défense : pourquoi l'expert est-il meilleur ?. Education. Université Rennes 2, 2011. Français. NNT : 2011REN20035 . tel-00652699

**HAL Id: tel-00652699**

**<https://theses.hal.science/tel-00652699>**

Submitted on 16 Dec 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**THESE / UNIVERSITE RENNES 2**  
*sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne*  
pour obtenir le titre de  
**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE RENNES 2**  
*Mention : STAPS*  
**Ecole doctorale Vie Agro Santé**

présentée par  
**Sébastien Brault**  
Préparée à l'Equipe d'Accueil (n° EA 1274)  
Laboratoire M2S  
Mouvement Sport Santé

La feinte de corps au rugby:  
déterminants biomécaniques,  
processus de détection et  
action de défense.

*Pourquoi l'expert est-il meilleur?*

**Thèse soutenue le 25 novembre 2011**  
devant le jury composé de :

**Reinoud Bootsma**  
Professeur, Université de la Méditerranée, Aix-Marseille 2 / *rapporteur*

**Vincent Nougier**  
Professeur, Université de Grenoble 1 / *rapporteur*

**Claude Jard**  
Professeur, ENS de Cachan, Antenne de Bretagne / *examineur*

**Paul Delamarche**  
Professeur, Université de Rennes 2 / *directeur de thèse*

**Cathy Craig**  
Professeur, Queen's University, Belfast / *co-directrice*

**Benoît Bideau**  
Maître de conférence, Université de Rennes 2 / *co-directeur*





*"Je vais vous dire quelque chose Odile, on ne peut pas tromper une personne mille fois...si...si...si on peut tromper mille personnes une f....m...mille fois...non. On ne peut, on peut tromper une fois mille personnes, Odile, mais on ne peut pas tromper une fois mille personnes."*

Alain Berberian, dialogue du film "La cité de la peur"



# Table des matières

<b>Préambule</b>	<b>1</b>
<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>1 Revue de la littérature</b>	<b>7</b>
1.1 La tromperie, de l'intention à l'action en rugby . . . . .	7
1.1.1 Tromper ? . . . . .	7
1.1.2 Le duel 1 vs. 1 au rugby . . . . .	9
1.1.2.1 La feinte de corps, une possibilité d'action au service de la performance . . . . .	9
1.1.2.2 Reconnaissance visuelle du mouvement humain et détection de feinte . . . . .	14
1.2 Intérêts de l'analyse de mouvement pour la caractérisation d'un mouvement sportif . . . . .	17
1.2.1 La biomécanique : définition, utilisations et intérêts . . . . .	17
1.2.2 L'analyse de mouvements, un filtre pertinent pour l'analyse perceptive . . . . .	17
1.2.3 Déterminants biomécaniques de la feinte en rugby . . . . .	18
1.2.3.1 Orientation de la tête et priorité visuelle . . . . .	19
1.2.3.2 Biomécanique du changement de direction . . . . .	21
1.2.3.2.1 Contrôle du CM dans le plan medio-latéral . . . . .	21
1.2.3.2.2 Bilan . . . . .	22
1.3 Analyse perceptive des protagonistes au cours du duel . . . . .	23
1.3.1 La perception en sport : ses méthodes d'investigation . . . . .	24
1.3.1.1 Méthodes subjectives . . . . .	24
1.3.1.2 Méthodes objectives . . . . .	25
1.3.1.2.1 Analyse oculométrique . . . . .	25

1.3.1.2.2	Occultation . . . . .	26
1.3.1.2.3	Dégradation de l'image . . . . .	27
1.3.2	Approche conceptuelle de la relation perception-action . . . . .	28
1.3.2.1	Approche directe vs. indirecte de la relation perception-action . . . . .	29
1.3.2.2	Approche écologique de la perception visuelle et de l'action en sport . . . . .	31
1.3.2.2.1	Affordances . . . . .	32
1.3.2.2.2	Contrôle prospectif et théorie du Tau . . . . .	34
1.3.2.3	Bilan . . . . .	35
1.4	La réalité virtuelle, une solution pertinente pour l'étude de la relation perception-action . . . . .	35
1.4.1	Définitions . . . . .	36
1.4.1.1	Technologique . . . . .	36
1.4.1.2	Conceptuelle . . . . .	37
1.4.2	Une notion fondamentale : la présence . . . . .	38
1.4.2.1	Définitions . . . . .	38
1.4.2.2	Les facteurs de la présence . . . . .	39
1.4.2.2.1	Les facteurs externes . . . . .	39
1.4.2.2.2	Les facteurs internes . . . . .	39
1.4.2.3	Les mesures du degré de présence . . . . .	39
1.4.2.3.1	Mesures objectives . . . . .	40
1.4.2.3.2	Mesures subjectives . . . . .	40
1.4.3	Réalité virtuelle et analyse de situations sportives . . . . .	40

## **Synthèse et objectifs 43**

## **2 Etude 1 : Discriminants biomécaniques de la feinte de corps en rugby 47**

2.1	Introduction . . . . .	48
2.2	Méthodologie . . . . .	48
2.2.1	Participants et protocole expérimental . . . . .	48
2.2.2	Capture de mouvements en environnement réel . . . . .	49
2.2.3	Sélection et catégorisation des mouvements de feinte . . . . .	52
2.2.4	Détermination de l'intervalle d'étude . . . . .	52
2.2.5	Analyse cinématique . . . . .	53
2.2.6	Analyse statistique . . . . .	55



2.3	Résultats . . . . .	56
2.3.1	DM vs. NDM . . . . .	56
2.3.1.1	Profils cinématiques et distances moyennes . . . . .	56
2.3.1.2	Délais et stratégies de réorientations : R1 et R2-DM . . . . .	58
2.3.2	DM+ vs. DM- . . . . .	58
2.3.2.1	Profils cinématiques et distances moyennes . . . . .	58
2.3.2.2	Délais et stratégies de réorientations : R1 et R2-DM . . . . .	60
2.4	Discussion . . . . .	62
2.5	Conclusion . . . . .	64

### 3 Etude 2 : Expertise et prise de décision du défenseur face à une feinte de corps 65

3.1	Introduction . . . . .	66
3.2	Méthodologie . . . . .	66
3.2.1	Participants . . . . .	66
3.2.2	Mise en place . . . . .	66
3.2.3	Détermination des temps d'occultation . . . . .	67
3.2.4	Chaîne d'animation et développement d'un environnement virtuel immersif . . . . .	69
3.2.4.1	Processus d'animation de l'humanoïde . . . . .	69
3.2.4.2	Environnement 3D et head tracking . . . . .	70
3.2.4.3	Matériel . . . . .	71
3.2.4.4	Traitement des données et statistiques . . . . .	72
3.2.5	Invariants informationnels . . . . .	72
3.2.6	Valeurs critiques ( $CV$ ) et temps estimés ( $t_{CV}$ ) . . . . .	74
3.3	Résultats . . . . .	77
3.3.1	Pourcentages de bonnes réponses . . . . .	77
3.3.2	Analyse des régressions logistiques : Experts vs. Novices . . . . .	78
3.3.2.1	Stratégies visuelles . . . . .	78
3.3.2.2	Sensibilité perceptive . . . . .	78
3.4	Discussion . . . . .	80
3.4.1	Mise en évidence des capacités de prise de décision supérieures de l'expert . . . . .	80
3.4.2	Vers une compréhension de l'expertise . . . . .	81
3.5	Conclusion . . . . .	82

<b>4 Etude 3 : Stratégie perceptivo-motrice du défenseur face à une feinte de corps : effets de l'expertise</b>	<b>83</b>
4.1 Introduction . . . . .	84
4.2 Méthodologie . . . . .	84
4.2.1 Participants . . . . .	84
4.2.2 Mise en place . . . . .	85
4.2.3 Matériel . . . . .	85
4.2.4 Paramètres analysés . . . . .	86
4.2.5 Traitement des données et statistiques . . . . .	87
4.3 Résultats . . . . .	88
4.3.1 Délai d'initiation du mouvement . . . . .	88
4.3.2 Pourcentage de déplacements précoces dans la mauvaise direction	88
4.3.3 Amplitude des déplacements précoces dans la mauvaise direction	89
4.3.4 Performance . . . . .	89
4.4 Discussion . . . . .	91
4.5 Conclusion . . . . .	92
<b>5 Vers un duel interactif, perspective future</b>	<b>95</b>
5.1 Modélisation du comportement du défenseur . . . . .	96
5.1.1 Quand initie-t-il son déplacement ? . . . . .	96
5.1.2 Quand change-t-il éventuellement de direction ? . . . . .	96
5.2 Animation temps-réel du défenseur . . . . .	99
5.3 Verrous technologiques . . . . .	100
<b>6 Discussion générale</b>	<b>103</b>
6.1 Détection des intentions de feinte et prise de décision. Ou comment expliquer en partie l'expertise . . . . .	104
6.2 Perception vs. Perception-action . . . . .	105
6.3 Couplage perception-action et expertise face à un mouvement de feinte	107
6.4 L'hypothèse des neurones miroirs . . . . .	107
<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>111</b>
<b>Apport au domaine</b>	<b>115</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>117</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>131</b>

<b>Liste des tableaux</b>	<b>137</b>
<b>Publications liées à la thèse</b>	<b>139</b>
6.5 Publications liées à la thèse . . . . .	139
6.6 Autres publications . . . . .	141



# Préambule

Avant toute chose, nous souhaitons attirer l'attention sur le fait que ce travail s'inscrit dans le domaine des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS). En ce sens, nous ne sommes pas insensibles à la richesse majeure que présente notre filière, à savoir, son caractère pluridisciplinaire. Nous proposons donc de passer outre certaines luttes intestines qui amènent couramment à séparer catégoriquement les sciences de la vie, des sciences humaines. Certes notre travail s'inscrit a priori plus dans le cadre des premières, cependant, nous ne resterons pas hermétiques à la richesse que peuvent apporter les secondes. Nous en sommes persuadés : tenter d'approcher la complexité d'un phénomène nécessite une approche pluridisciplinaire.





# Introduction

*"En rugby, il y a ceux qui jouent du piano  
et ceux qui les déménagent"*

**Pierre Danos (International Français)**

L'action sportive, aussi singulière, complexe et souvent limitée dans le temps qu'elle puisse être, nécessite une prise d'informations sélective. Cette perception permet de révéler les informations pertinentes de la situation sportive. En effet, si tout le monde est en mesure de réaliser des tâches simples, à faible contraintes, tout le monde ne peut pas être sportif de haut niveau et renvoyer des services de tennis arrivant à près de 200 km.h-1, arrêter un tir de handball, ou encore empêcher un attaquant de passer en rugby. Pour bon nombre de sports, la performance est dépendante de la capacité à réagir sous la contrainte temporelle. Il s'agit de réagir au mieux, c'est-à-dire "être au bon endroit au bon moment". Tout se joue bien souvent dans une poignée de millisecondes. Si l'on a tous accès aux mêmes informations pendant l'action, pourquoi ne réagissons nous pas tous de la même manière ? Probablement parce que la contrainte temporelle oblige justement une sélection perceptive, c'est-à-dire une prise en compte de manière préférentielle de certaines informations, elle requiert d'aller à l'essentiel, au pertinent.

A ce sujet, il est intéressant de noter le fait que ces informations, bien que disponibles pour tout le monde ne sont pas nécessairement toutes aussi prévisibles les unes que les autres. Il est vrai que si les objets en mouvement (ballon, balle. . . ) ont des trajectoires à priori prédéfinies lorsqu'elles sont initiées, qu'en est-il d'un être humain imprévisible au plus haut point ? Ce dernier peut en effet changer d'intention, de direction à chaque instant du duel. C'est toute la richesse du duel sportif entre deux individus. Un jeu

de bluff, de fausses et de vraies intentions, de décryptage, d'interprétation s'instaure. L'objectif final étant simplement pour chacun, de prendre l'avantage sur l'autre. Une telle réflexion fait indéniablement ressortir la notion de feinte et de tromperie mise en jeu dans de telles situations. C'est précisément cette complexité d'intentions, de stratégies motrices, de déterminants visuels, de prise d'informations que nous avons choisi d'explorer dans le domaine du rugby.

L'objectif de cette thèse est ainsi d'explorer le duel 1 vs. 1 au rugby et plus précisément les situations présentant des tentatives de feinte de corps de l'attaquant. En d'autres termes, comprendre comment d'un point de vue moteur l'attaquant s'organise-t-il pour faire croire à une mauvaise intention et comment en réponse, le défenseur en fonction de son niveau d'expertise fait-il pour s'organiser le plus efficacement possible d'un point de vue perceptivo-moteur. Afin de mener à bien ce travail, nous nous attacherons à détailler dans un premier temps les données de la littérature nécessaires à la mise en place théorique et concrète de notre démarche. Nous aborderons les tenants et aboutissant de la notion de tromperie, et plus précisément encore, de la notion de tromperie motrice en sport. Il sera donc de bon ton d'expliquer pourquoi le corps constitue un médiateur de la relation dans un duel sportif et en quoi il représente une source d'informations visuelles pour l'adversaire. L'atout de la biomécanique sera ainsi mis en avant, et ce, au service d'une analyse particulière qui nous intéresse ici, la feinte de corps au rugby. L'analyse perceptive en sport sera également abordée. Cette dernière constituant un ancrage majeur de ce travail, nous prendrons soin ici de détailler les méthodologies, mais aussi et surtout les différentes approches conceptuelles envisageables pour l'exploration de la boucle perception-action en sport. Enfin, nous réserverons une dernière partie à l'outil principal que nous utiliserons au cours de ce travail de thèse, à savoir, la réalité virtuelle.

La mise en place concrète de notre réflexion et problématique sera ensuite abordée au cours des chapitres 2, 3 et 4, faisant respectivement référence aux études 1, 2 et 3 de cette thèse. L'étude 1 ambitionne une exploration des déterminants biomécaniques différenciant les stratégies de feinte et de non-feinte. Ainsi, l'objectif est d'apprécier s'il y a une stratégie motrice spécifique d'une tentative de feinte. La seconde étape de ce travail consistera à comprendre en quoi l'expertise permettrait de détecter de manière plus efficace les mouvements de feinte. En somme, répondre à la question : Pourquoi l'expert est-il plus performant sur la détection des mouvements de feinte ? Cette étape aura pour objectif de mettre en lien les informations cinématiques données par l'attaquant avec l'évolution de la prise de décision du défenseur expert ou novice. La dernière étape s'inspirera de l'étude 2 mais aura pour différence majeure qu'elle placera les participants dans une situation plus proche de la réalité, et nécessitera une réponse motrice complète face aux différents mouvements proposés. Enfin, au cours du chapitre 5 nous détaillerons une application à même d'être utilisée en tant que futur outil d'entraînement. Cette dernière, a le potentiel d'encapsuler l'ensemble des résultats obtenus précédemment, en proposant une simulation interactive d'un défenseur de rugby. Cette étape finale consistera à incorporer les données biomécaniques, perceptivo-décisionnelles et motrices des deux protagonistes et à les intégrer dans une modélisation nous permettant de contrôler le déplacement d'un défenseur virtuel en réponse à des tentatives de feinte (ou non) d'un réel attaquant. Enfin, l'ensemble du processus sera discuté au cours du chapitre 6 (Discussion générale) afin de dresser un bilan de notre démarche,

de notre méthodologie, de nos résultats et de l'apport que nous avons fait, tant d'un point de vue fondamental qu'appliqué, pour la compréhension des stratégies expertes de détection de feinte au rugby.





# Chapitre 1

## Revue de la littérature

### 1.1 La tromperie, de l'intention à l'action en rugby

#### 1.1.1 Tromper ?

Nombreuses sont les raisons pour tenter de tromper ou feinter quelqu'un. De manière générale l'objectif reste cependant le même, à savoir, être en mesure de prendre l'avantage sur la personne avec laquelle on est en train d'interagir. Dans le monde animal, le manque de force des plus petits a parfois besoin d'être compensé par l'utilisation de tromperie à des fins de survie. Un parfait exemple est un petit oiseau appelé "killdeer" (fig. 1.1) qui est en mesure de déployer des manœuvres de diversion afin d'éloigner tout danger de son nid. Pour cela, il s'écarte de son nid et se met dans une situation donnant l'illusion qu'il a une aile cassée. Ce subterfuge a pour objectif d'attirer l'attention d'un prédateur sur lui et ainsi d'écarter le danger de son nid.



Figure 1.1 - Killdeer simulant une aile cassée

Chez les humains, de telles stratégies de tromperie peuvent être utilisées à différentes fins. Pour l'amusement, tel un magicien qui tente de leurrer son public et de lui faire croire à des phénomènes impensables. Malheureusement pour des raisons beaucoup plus cruelles, telles les stratégies de diversion entreprises pour remporter une bataille, une guerre. Un exemple, certes légendaire, mais tellement représentatif de cette idée de tromperie est le récit de la bataille de Troie et du célèbre épisode du Cheval de Troie (fig. 1.2) dans l'odyssée d'Homère. Les Grecs n'ayant pas réussi à envahir la ville de Troie pendant plus de dix ans, eurent l'idée de dissimuler une petite armée dans un grand cheval creux et de le faire offrir au Troyens. Ces derniers acceptant l'offrande, ils le firent entrer au sein de leur forteresse. L'histoire raconte que cette ruse a permis aux Grecs d'envahir la ville de l'intérieur pendant la nuit tandis que les troyens festoyaient.

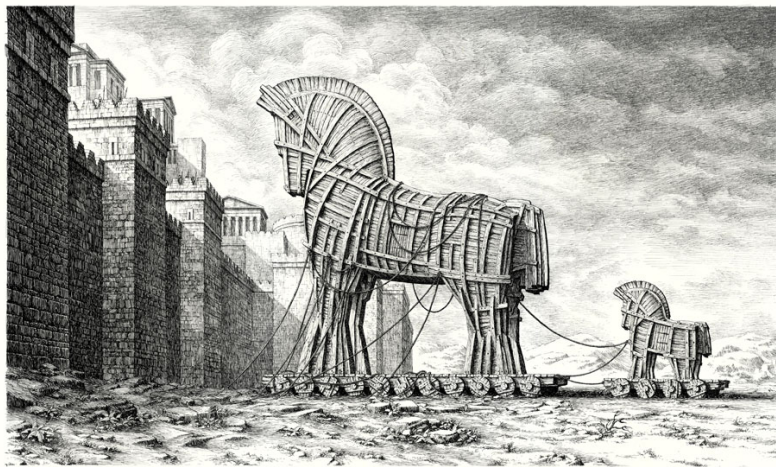


Figure 1.2 - Cheval de Troie

Enfin, une autre raison humaine de tromper est de vouloir remporter un point, un set, un match, en somme un affrontement sportif. En effet, le sport est un domaine par excellence où la tromperie s'exprime, et ce, car le but est de prendre l'avantage sur l'adversaire. Les stratégies de tromperie, couramment appelées feintes, sont indispensables pour prendre de vitesse, effacer un adversaire ou une équipe. Ces feintes peuvent être collectives ou individuelles. Collectives, comme par exemple en football américain où le but est, pour l'équipe qui attaque, de produire une combinaison complexe de courses différentes afin de perturber la défense adverse et s'ouvrir une brèche vers l'en-but. En ce qui concerne les feintes individuelles, dites feintes de corps, elles se retrouvent dans de très nombreux sports, dès lors qu'il y a des duels 1 vs. 1 et que l'un des protagonistes doit prendre l'avantage sur l'autre. Ce type de stratégie et ses processus de détection ont été étudiés dans différents domaines [Bond Jr1992, Ekman1999]. Néanmoins, en dépit d'intéressants résultats, peu d'investigations ont été menées dans le domaine de la tromperie motrice [Runeson1983] comme en sport par exemple [Jackson2006, Sebanz2009, Cañal-Bruland2009]. Et quand bien même ce peu d'études fournit des données témoignant du lien entre l'expertise et la capacité à détecter les mouvements de feinte, elles ne sont pas en mesure d'expliquer comment sont réalisés ces feintes, quels sont leurs principes d'efficacité et pourquoi les experts sont-ils à même de les détecter

plus efficacement. Et pourtant, comme l'ont mentionné Jackson et coll. [Jackson2006], reporté par Cañal-Bruland et Schmidt [Cañal-Bruland2009], les mouvements de feinte de corps sont fréquemment utilisés en sport et leur détection requiert des capacités d'anticipation spécifiques !

## 1.1.2 Le duel 1 vs. 1 au rugby

### 1.1.2.1 La feinte de corps, une possibilité d'action au service de la performance

Au rugby, ce qui en premier lieu est mis en jeu, ce n'est pas la conquête du ballon, mais bel et bien la conquête d'un terrain. En effet, le rugby est un sport que l'on peut qualifier de "gagne-terrain". Pour gagner, chaque équipe doit donc mettre en place des techniques et tactiques, collectives et individuelles. Ici, dans le cadre du duel attaquant-défenseur (1 vs. 1) ce sont les actions individuelles et plus précisément l'action de feinter qui nous intéresse. Lors du duel 1 vs. 1, l'attaquant ne peut pas faire de passe et il n'a, d'un point de vue spatial, que deux options : passer à droite ou à gauche du défenseur. Cependant, de nombreuses combinaisons sont possibles. Il peut ainsi, essayer d'induire en erreur le défenseur en simulant un départ dans une mauvaise direction et finalement effectuer un changement de direction au dernier moment (fig. 1.3). Malgré la multiplicité et l'importance de ces actions de jeu durant un match, très peu d'études se sont attachées à étudier la feinte. En effet, comme nous avons pu le voir dans la section précédente (1.1.1), d'autres études ont analysé la tromperie dans différents domaines. Néanmoins, aucune ne s'est attachée d'un point de vue biomécanique à investir le domaine du sport. Pourtant, il semble exister un lien évident avec le phénomène d'anticipation [Jackson2006, Sebanz2009, Cañal-Bruland2009].



Figure 1.3 - Tentative de feinte de corps d'un attaquant lors d'un duel 1 vs. 1 face à un défenseur

Si Jackson et coll. [Jackson2006] s'y sont intéressés, cela n'était que d'un point de vue perceptif où l'objectif était d'analyser les capacités de prédiction et d'anticipation de deux populations (experte et novice). Ils ont utilisé un paradigme d'occultation et un affichage vidéo pour présenter aux participants des images statiques de feinte et de non-feinte en rugby. Leur objectif était double : (i) à savoir, dans un premier temps, comparer les capacités des experts, comparativement aux novices, à détecter une tentative de feinte dans un mouvement adverse (ii) dans un second temps, comparer le niveau de confiance des réponses données par les deux populations au regard des différents types de mouvements présentés. Si nous mettons de côté le second objectif qui n'est pas le cœur de nos travaux ici, nous constatons toutes populations confondues que la performance (pourcentage de prédictions correct) est meilleure : occultations après occultations ; face aux mouvements sans feinte ; et enfin face à des mouvements de feinte réalisés par des novices comparativement aux mouvements de feinte réalisés par des experts (fig. 1.4). Par ailleurs, le résultat principal de cette étude est tel que les novices semblent être plus affectés par les images présentant des mouvements de feinte comparativement aux experts. Autrement dit, cette étude confirme que la détection des intentions de feinte est bien liée au niveau d'expertise.

Néanmoins dans cette étude, quelques limites doivent être prises en compte pour de futures expérimentations dans le domaine. Premièrement, notons la faible fréquence de capture de la caméra vidéo, 25Hz. Cette faible fréquence implique qu'une image est disponible chaque 40 millisecondes (ms). Autrement dit, sur des intervalles d'occultations de 120ms cela représente une possibilité d'erreur de précision de 33% entre le moment exact de l'événement cinématique de référence et l'image effective retenue. Il y a donc une limite de précision devant être considérée pour l'analyse des résultats. Une solution, serait d'utiliser des technologies actuelles telles que la capture de mouvements par exemple. Cette dernière permettrait d'acquérir des images à une fréquence de 120Hz par exemple et de réduire ainsi considérablement le délai de coïncidence entre le réel événement cinématique recherché et le premier temps d'occultation. Par ailleurs,

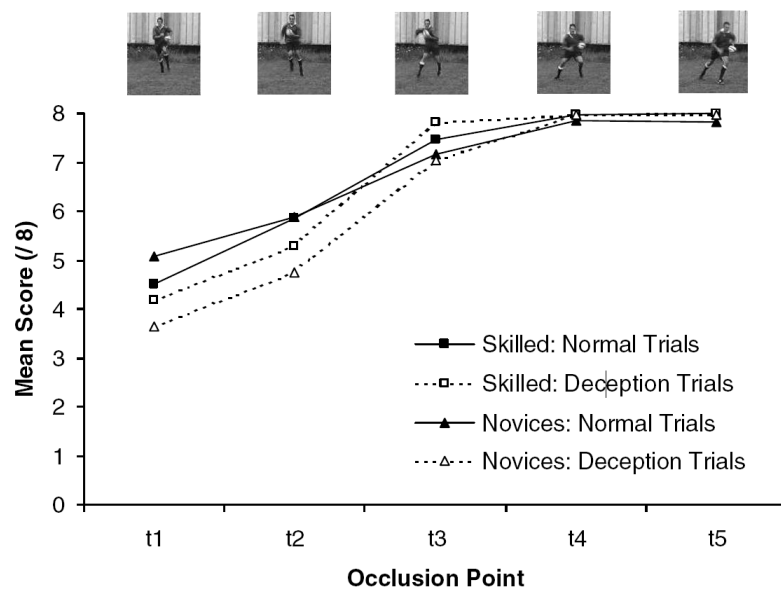


Figure 1.4 - Résultats de la tâche de jugement en fonction des différents temps d'occlusion (d'après Jackson et coll. [Jackson2006])

une autre limite réside dans l'utilisation d'une telle méthodologie, à savoir, le degré d'immersion du participant dans la scène. Tel que le font remarquer Petit et Rippoll [Petit2008] un simple affichage 2D est une réelle limite comparé à un environnement immersif permettant un affichage stéréoscopique et une visualisation via un point de vue égocentrique de la scène par l'utilisateur. Cette idée est confirmée par Williams et Ward [Williams2003] qui argumentent en faveur de l'utilisation de technologies immersives pour évaluer la capacité perceptive en sport. Enfin, les mouvements ont été capturés face à une caméra et non lors d'un vrai duel. La limite que nous voulons mettre en évidence ici est que les mouvements manquent probablement de réalisme. Cela ne permet pas en effet de conserver l'essence même de l'interaction entre le défenseur et l'attaquant.

Dans cette même logique d'étudier la détection des intentions de tromperie non-verbale Sebanz et Shiffrar [Sebanz2009] ont investi le domaine du basketball. Leur objectif était de comparer les capacités expertes et novices à détecter un mouvement de feinte en basketball, et ce, dans différentes conditions : stimulus statique vs. dynamique (image vs. vidéo) et représentation réelle (image issue de la caméra) vs. représentation en PLD (point light display) (fig. 1.5). Leurs conclusions attestent de plusieurs choses. La première, comme nous avons déjà pu le remarquer, est que l'expertise dans un domaine (ici le basketball) améliore la capacité à détecter les intentions de feinte adverses. La seconde est que les experts sont en mesure d'être plus précis dans leurs prédictions seulement lorsque les informations présentées sont d'ordre dynamiques (vidéo). Enfin, la seconde expérimentation présente dans cette étude témoigne du fait que les experts sont à même d'interpréter les informations cinématiques seules et ce d'autant plus lorsque le stimulus est présenté avec un point de vue frontal et non de profil [Troje2005].



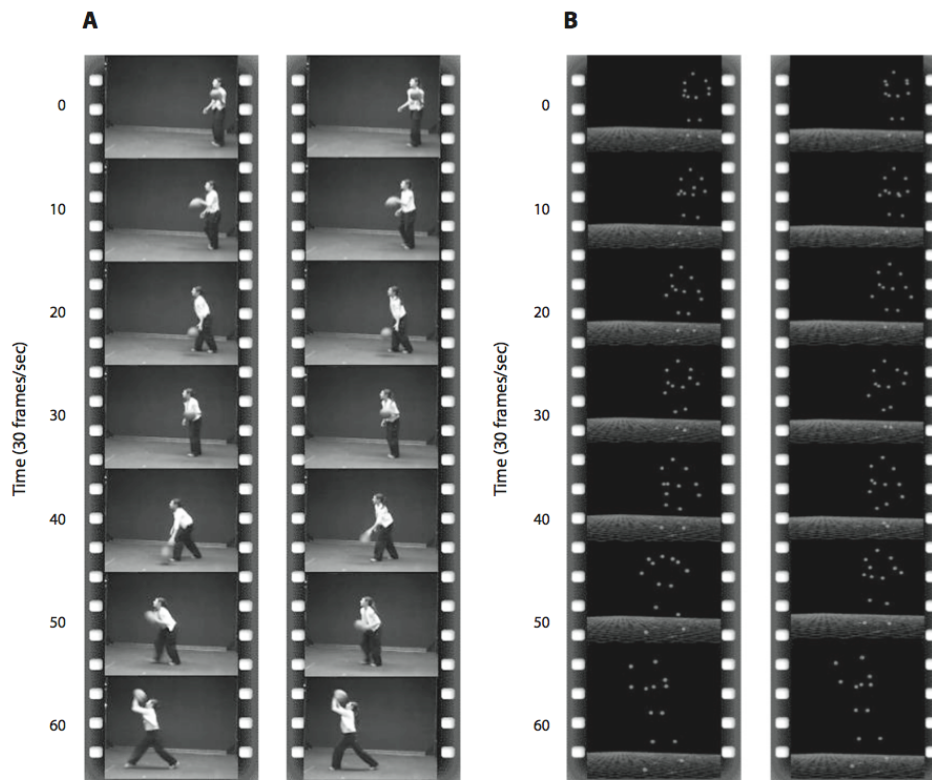


Figure 1.5 - Stimulus utilisé dans l'étude de Sebanz et Shiffrar [Sebanz2009]

Enfin, il est de rigueur que nous citons les études de Cañal Bruland et Schmidt [Cañal-Bruland2009] et de Cañal Bruland et coll. [Cañal-Bruland2010]. Dans la première étude [Cañal-Bruland2009] les auteurs ont analysé la capacité à détecter des intentions de feinte en fonction du niveau d'expertise motrice et perceptive en handball. La tâche demandée consistait à juger une tentative de tir au handball en précisant si celle-ci présentait une intention de feinte. Les résultats montrent que les experts (gardiens ou joueurs de champ) sont en mesure de détecter plus efficacement l'intention de feinte d'un attaquant que les novices. Par ailleurs, ce travail pose une autre hypothèse, à savoir, dans quelle mesure l'expertise motrice et perceptive peut également biaiser la réponse ("response bias"). En d'autres termes, l'expérience face à une situation spécifique peut-elle influencer la probabilité que l'on choisisse une option plutôt qu'une autre. Leurs résultats valident cette hypothèse en montrant que l'expertise propre à une situation peut augmenter les préjugés et influencer le jugement face à des tentatives de feinte [Meissner2002]. Dans la tâche proposée, si les gardiens experts présentent un meilleur score à détecter les mouvements de feinte (fig. 1.6) que les joueurs de champ, cette hiérarchie s'inverse face aux mouvements sans feinte. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les gardiens, de part leur expérience perceptivo-motrice supérieure face à un tireur (nombreuses situations de penalty), attendent un pourcentage de feinte supérieur à celui présenté dans l'expérience.

La seconde étude de Cañal Bruland et coll. [Cañal-Bruland2010] propose globalement la même tâche mais en modifiant le point de vue de l'action. L'idée étant ainsi d'évaluer l'influence de l'expérience motrice et perceptive à détecter des feintes de

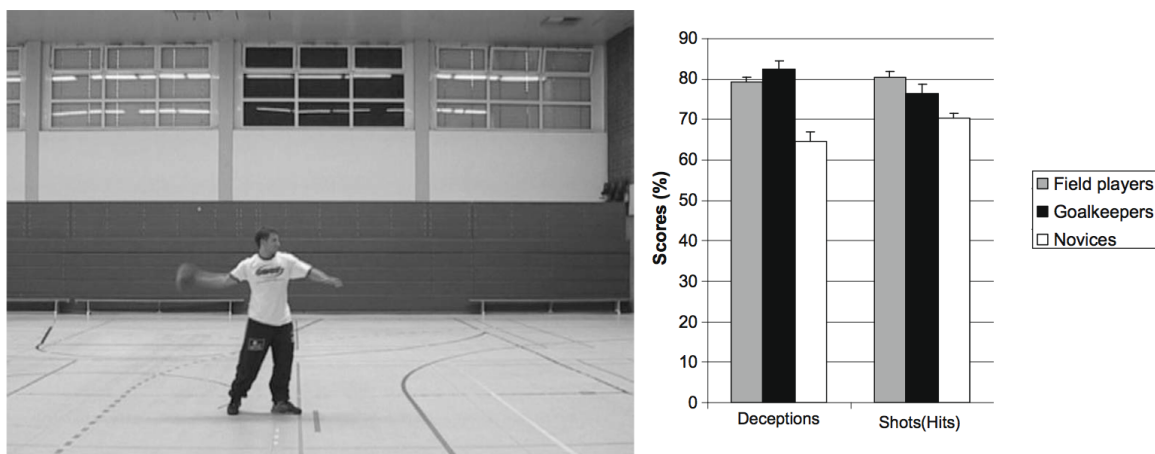


Figure 1.6 - Etude de Cañal Bruland et Schmidt [Cañal-Bruland2009]. A gauche : vue de côté de la situation de penalty proposée. A droite : scores (%) des différents groupes (expert field players, expert goalkeepers, novices) en fonction des différentes conditions d'expérimentation (deception condition et hits).

frappe en handball. Ainsi, alors que l'hypothèse de l'expérience motrice prédit que la détection de feinte n'est pas influencée par le point de vue, l'hypothèse de l'expérience perceptive prédit, elle, que les gardiens experts auront un avantage dans la condition "vue frontale". Les résultats montrent que les joueurs experts (gardiens et joueurs de champ) surclassent les novices dans la détection des intentions trompeuses mais qu'il n'y a pas de différences entre les joueurs de champ experts et gardiens de but experts (fig. 1.7). La reconnaissance des actions trompeuses a été plus précise dans la condition "vue frontale" comparativement à la condition "vue latérale". Les auteurs concluent en disant que ni le degré d'expérience motrice seul, ni le degré d'expérience perceptive seul, ne peut suffire à expliquer la capacité supérieure des experts à reconnaître des feintes.

En somme, si les experts ont développé une meilleure capacité à prévoir les actions de leurs adversaires, le challenge pour ces derniers sera donc de réduire au minimum les informations disponibles [Renshaw2000] ou de présenter des informations trompeuses. Précisément ici, comme le font remarquer Jackson et coll. [Jackson2006], il est une distinction indispensable à opérer entre la tentative d'un acteur de déguiser ses intentions et la tentative de tromper un observateur. Dans le cas du "déguisement", l'objectif est de masquer les informations que l'on donne à voir, car probablement trop pertinente pour l'adversaire, tandis que dans le cas de la "tromperie" l'objectif est de proposer à l'opposant de mauvaises informations pour l'induire en erreur. La résultante de ces deux types d'informations que peut fournir l'attaquant a pour objectif d'élever le degré d'incertitude et de pouvoir, le cas échéant, engendrer un début de réponse du défenseur dans la mauvaise direction. Dès lors une double logique s'installe i) tactique : instaurer une organisation segmentaire pour faire croire à une fausse direction ii) biomécanique : nécessité de préparer le changement de direction imminent. Il apparaît en effet impossible qu'un attaquant ait exactement la même attitude lors d'un mouvement avec et sans feinte, dans les millisecondes précédant le changement de direction. Il doit donc y avoir des informations cinématiques qui permettraient de trahir et de différencier cette intention de feinte. Tout le challenge pour l'attaquant est alors de faire passer les

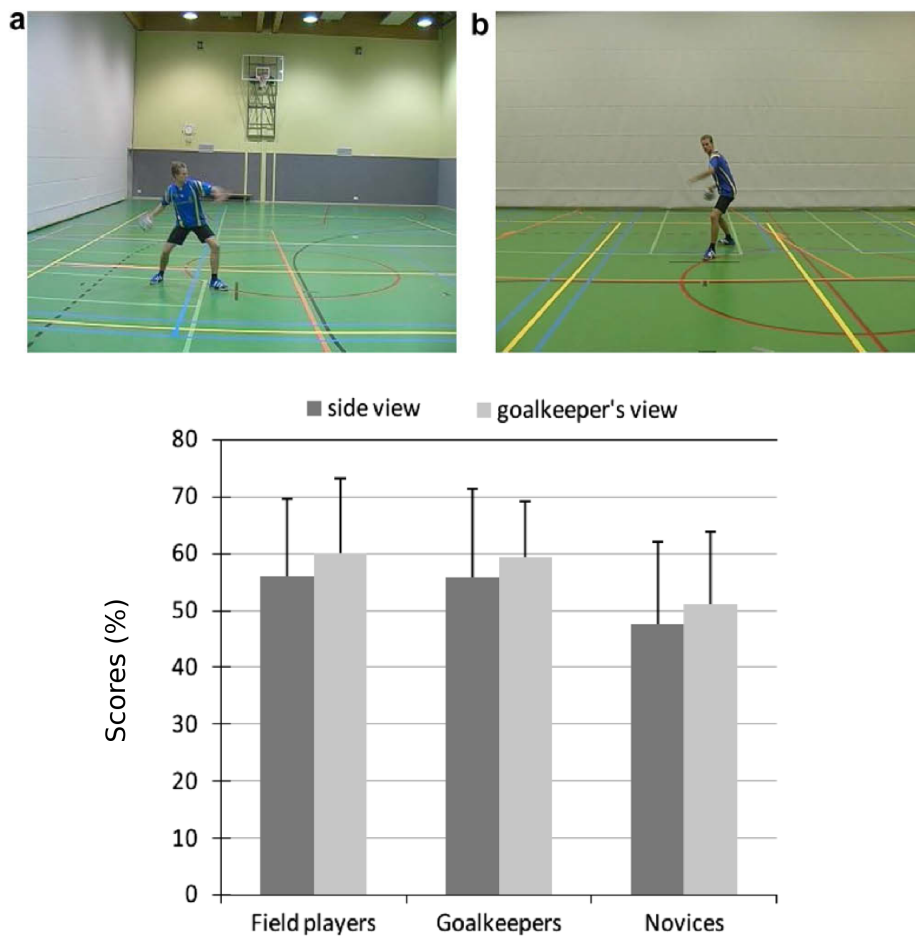


Figure 1.7 - Etude de Cañal Bruland et coll [Cañal-Bruland2010]. En haut : les deux types de stimulus utilisés : point de vue latéral (a) et point de vue frontal (b). En dessous : scores (%) des différents groupes (expert field players, expert goalkeepers, novices) en fonction des différentes conditions d'expérimentation (point de vue frontal et latéral).

informations trompeuses au premier plan, en les exagérant.

### 1.1.2.2 Reconnaissance visuelle du mouvement humain et détection de feinte

Nous venons à l'instant de mettre en évidence le fait que l'expertise est liée à la capacité à détecter les mouvements de feinte, l'étape suivante est d'analyser comment ces informations peuvent être détectées ?

De nombreux travaux empiriques se sont intéressés à étudier de manière générale la reconnaissance visuelle du mouvement humain, ou plutôt ce que la terminologie anglaise nomme comme " biological motion" [Johansson1973]. Johansson [Johansson1973] fut



Figure 1.8 - Représentation d'un marcheur en PLD

le premier à démontrer que l'homme est capable rapidement d'identifier l'activité et l'identité d'une créature animée à partir d'une entrée visuelle clairsemée. Il mit en place une technique particulière baptisée : Moving Lights Displays (MLD) ou Point Lights Displays (PLD). Elle consiste à représenter le mouvement humain à partir d'un minimum d'informations (fig. 1.8), en plaçant des marqueurs lumineux sur un acteur humain, et en filmant ou visionnant directement cette image dans le noir. Ainsi l'image apparaît sans contour, sans texture et sans ses trois dimensions. Les seules informations disponibles pour interpréter le mouvement biologique font référence à la manière dont les différents segments sont mobilisés les uns par rapport aux autres. Selon Lange et coll. [Lange2006], ce " biological motion " nous renseigne sur la forme globale du signal (" global motion ") ainsi que sur la forme locale du mouvement (" local motion ") (fig. 1.9).

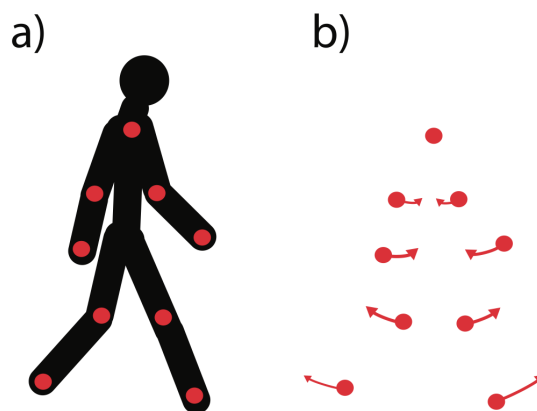


Figure 1.9 - a) forme globale du mouvement b) forme locale du mouvement [Lange2006]

Depuis plus de 30 ans, de nombreuses études se sont intéressées à la reconnais-

sance du " biological motion " par l'intermédiaire de cette technique du PLD (par exemple, [Giese2003, Goddard1992]). Elle a pour objectif de déterminer le minimum d'informations nécessaires à la reconnaissance d'une action. Il a ainsi été démontré qu'il était possible de reconnaître, le genre (féminin/masculin) d'un individu [Barclay1978, Hill2001, Kozlowski1977, Runeson1994, Troje2002, Pollick2002], et l'identité d'une personne par l'intermédiaire de sa démarche [Beardsworth1981, Cutting1977, Hill2000, Stevenage1999, Jokisch2006]. Des données très intéressantes ont aussi mis en évidence le fait que l'on pouvait identifier l'émotion d'un modèle humain animé par MLD [Dittrich1996, Pollick2001, Walk1984]. Enfin, Ahlström et coll. [Ahlström1997] ont admis qu'il était plus facile de reconnaître un marcheur en MLD qu'un marcheur avec une image brouillée. Par ailleurs, la reconnaissance de ce " biological motion " peut être perturbée par différents facteurs. C'est ainsi que le taux de reconnaissance du genre s'échelonne de 46 à 86 % en fonction de l'action, de l'âge et de l'angle de vue [Barclay1978, Hirashima1999, Kozlowski1977, Montepare1988, Runeson1981, Troje2002]. Cette capacité de reconnaissance du " biological motion " s'est également effectuée à partir d'une image brouillée ou d'une vidéo de pauvre qualité. L'humain est alors en mesure de reconnaître le type d'activité pratiqué : sauter, danser, sauter à cloche pied, courir ou marcher [Bobick1996, Cedras1995]. En somme, s'il reste difficile de reconnaître à distance la coupe de cheveux, les habits et d'autres caractéristiques, il est possible d'identifier une démarche caractéristique par l'intermédiaire du système visuel humain [Stevenage1999] et donc un mouvement.

En sport, la quête pour identifier les informations cinématiques corporelles déterminantes lors des interactions est permanente [Savelsbergh2002, Williams1994]. Dans le cadre du rugby, qui nous intéresse tout particulièrement ici, si Jackson et coll. [Jackson2006] ont mis en évidence les capacités accrues des experts à détecter les mouvements de feinte leur méthodologie ne leur permettait pas de mettre en lien l'évolution des informations cinématiques de l'attaquant avec la prise de décision des experts et novices. En d'autres termes, être en mesure d'expliquer quelles informations corporelles sembleraient être plus utilisées par les experts et/ou par les novices. Ceci représente tout l'aspect original de notre travail, à savoir, tenter de répondre aux questions suivantes : pourquoi les joueurs de rugby experts présentent de meilleures capacités de détection des mouvements de feinte que les novices [Jackson2006] ? Sont-ils (les experts) à même d'utiliser des informations cinématiques plus pertinentes ? Si oui, quelles seraient ces informations guidant leur prise de décision ? Et enfin, en lien avec ce que nous avons soulevé dans la sous-section précédente, les novices seraient-ils plus influencés par les informations trompeuses (exagérées) ?

Afin de pouvoir répondre à cette question il est une nécessité, à savoir, décrypter le mouvement de feinte de corps en rugby. Y-aurait-il effectivement des informations fiables et d'autres pas ? En d'autres termes, des paramètres exagérés et d'autres minimisés ? A cette fin, nous nous devons d'explorer les discriminants biomécaniques d'un mouvement de feinte.

## 1.2 Intérêts de l'analyse de mouvement pour la caractérisation d'un mouvement sportif

### 1.2.1 La biomécanique : définition, utilisations et intérêts

L'analyse biomécanique est aujourd'hui utilisée dans de nombreux domaines tels que la rééducation, l'ergonomie, l'animation d'humanoïdes... Elle a pour objectifs de décrire et/ou expliquer ce que sont les causes et les conséquences d'un mouvement. Les causes du mouvement font directement référence aux données dynamiques tandis que les conséquences sont d'ordre cinétiques et cinématiques. Concernant l'analyse dynamique du mouvement, celle-ci consiste à analyser les forces et moment de force aux articulations responsables du mouvement. Elle ne constitue pas un paramètre visuellement observable, ou du moins difficilement à première vue. Les informations cinétiques font référence à la répartition des masses au sein du corps humain et à l'évolution de cette répartition au cours du mouvement. Le paramètre le plus couramment calculé ici est la position du centre de masse (CM). Il est obtenu à partir de la position de chaque segment et d'une table anthropométrique dans laquelle figure la masse relative de chaque segment par rapport à la masse totale du sujet. L'une des tables la plus couramment utilisée est celle de Zatsiorsky et coll. [Zatsiorsky1990]. Si la visualisation du CM n'apparaît pas aisée, nous pouvons penser qu'il est tout de même possible de ressentir certaines variations de positions quand celles-ci sont suffisamment conséquentes. Enfin, l'analyse cinématique consiste, elle, à étudier les déplacements linéaires et angulaires des différentes articulations. Ces données, contrairement aux autres, sont directement visibles par le sujet. Elles présentent dès lors, comme nous le verrons dans la section 1.2.2, un intérêt tout particulier pour notre travail.

Dans le domaine du sport, la biomécanique présente de multiples applications. Elle permet notamment d'étudier les risques traumatiques liés à certains mouvements, de déterminer les facteurs de performance, d'améliorer la gestuelle d'un sportif, ou encore de caractériser et donc de différencier un geste sportif d'un autre. La littérature est extrêmement riche à ce sujet et dans de multiples activités tel que le golf [Teu2006], le football [Barfield1998], le baseball [Fleisig1996]... Par conséquent, elle permet de décrire objectivement les paramètres discriminants d'un mouvement. C'est précisément ce qui nous intéresse ici lorsque l'on doit différencier un mouvement avec et sans feinte au rugby.

### 1.2.2 L'analyse de mouvements, un filtre pertinent pour l'analyse perceptive

De tout temps, l'une des préoccupations du champ sportif, à des fins de performance, est d'être en mesure d'isoler les facteurs déterminants de l'expertise. C'est ce qu'ambitionnaient déjà les travaux de Marey sur la chronophotographie (fig. 1.10). Les résultats de ce dernier ont permis de décomposer le mouvement humain et ainsi d'en

observer l'organisation segmentaire durant l'action. Notre démarche est presque similaire, seulement, le but pour nous est de pouvoir émettre des hypothèses sur ce qui est visuellement reconnaissable durant le duel sportif par les protagonistes.

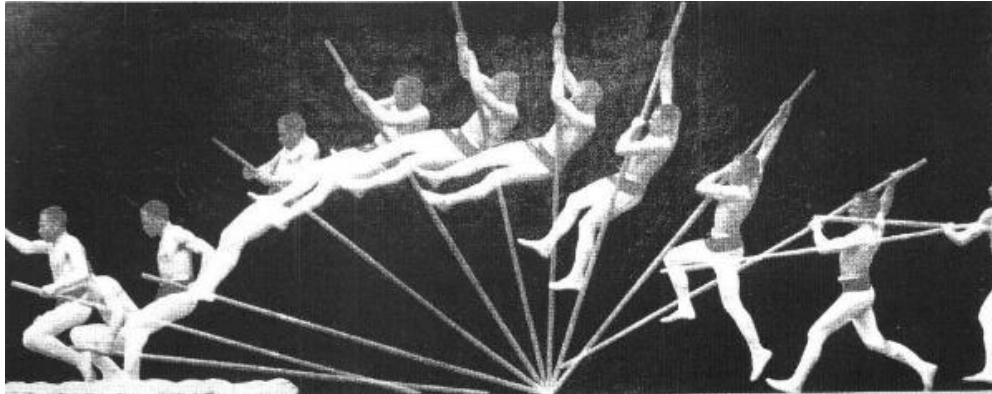


Figure 1.10 - Chronophotographie, E-J Marey

L'analyse de mouvements se place ici comme un outil servant à préciser ce que sont les cinématiques discriminantes lors du mouvement de feinte, et par conséquent les liens éventuels avec les informations visuelles pertinentes.

Un article récent de Gregor [Gregor2008] met en avant le fait qu'il est indispensable aujourd'hui pour le domaine de la biomécanique de proposer des hypothèses de travail intégrant des champs divers tel que la psychologie, ou le contrôle moteur par exemple. Un intérêt majeur de notre travail est donc que nous proposons de coupler une analyse de mouvements aux résultats d'une étude perceptive.

En somme, nous venons de montrer que l'analyse de mouvements pouvait être une source d'informations et de précisions supplémentaires dans le cadre d'une analyse perceptive d'un duel sportif. Elle permet de caractériser cinématiquement un geste sportif. Précisément ici, elle va nous permettre de différencier biomécaniquement un mouvement d'attaque avec et sans feinte au rugby. Par la suite, nous utiliserons ces données pour comparer la prise d'informations de l'expert et du novice et tenter de déterminer les discriminants visuels de l'expertise.

### 1.2.3 Déterminants biomécaniques de la feinte en rugby

Qui dit feinte, dit initiation d'un mouvement dans une direction puis réorientation soudaine dans la direction opposée. En somme, un enchainement de phases d'orientation puis de réorientation. C'est précisément par ce point-ci qu'il convient d'explorer la feinte de corps, en comprenant ce que sont les déterminants biomécaniques impliqués dans les simples tâches d'orientation et de reorientation. Comme le font remarquer Orendurff et coll. [Orendurff2006], dans le domaine de la locomotion la majorité des études se sont intéressées à la marche ou la course en ligne. Et pourtant, 20% de nos pas effectués quotidiennement sont des virages [Sedgeman1994]. L'analyse des changements de direction

lors de la marche ou de la course reste donc un vecteur d'étude très ouvert. Elle intéresse tant les chercheurs [Hase1999, Gordon1995] que les cliniciens [Mathias1986, Wall2000]. Mais par-dessus tout, c'est principalement le champ des neurosciences qui semble s'être investi pleinement dans cette thématique. Une multitude d'études analyse les stratégies de contrôle moteur et d'orientation dans l'espace durant la marche et plus précisément la coordination entre les différents mouvements des yeux, de la tête, du corps et des membres [Crane1997, Hirasaki1999, Inman1966, Maurer1997, Mergner1998, Moore1999, Winter1993, Imai2001]. De manière générale, ces dernières montrent que le corps, la tête et les yeux sont coordonnés selon une stratégie de type Top-Down [Patla1991]. La priorité est accordée, en premier lieu, à l'alignement du regard et de la tête dans l'espace [Crane1997, Hirasaki1999, Moore1999, Pozzo1991].

### 1.2.3.1 Orientation de la tête et priorité visuelle

De nombreuses études ont analysé les mouvements horizontaux de la tête et des yeux lors de la locomotion. Elles ont clairement montré un contrôle anticipé de la direction de la tête dans le plan horizontal lors d'une manœuvre de changement de direction [Gibson1958, Grasso1996, Hollands2001, Patla1999]. C'est ce que Grasso et coll. [Grasso1998] ont étudié, par exemple, en enregistrant les mouvements horizontaux de la tête et des yeux dans un virage. Leurs résultats témoignent de mouvements anticipés des yeux et de la tête pour aligner le corps dans la nouvelle direction. Imai et coll. [Imai2001] ont étendu ces résultats en couplant cela avec une analyse 3D des mouvements du corps, de la tête et des yeux pour des sujets marchant dans un virage. Leurs résultats montrent très clairement que la combinaison des mouvements de "lacet", "roulis" et "tangage" du corps (respectivement les rotations selon les axes longitudinal, sagittal et horizontal), de la tête et des yeux permet de maintenir le regard dans la bonne direction lors d'un mouvement en ligne droite, et de diriger de manière précoce le regard durant le changement de direction. Patla et coll. [Patla1999] fournissent des résultats identiques en témoignant d'un mouvement de "lacet" de la tête avant celui de "lacet" du tronc. Pour compléter et confirmer cela Vallis et coll. [Vallis2001] ont étudié les stratégies de contrôle moteur en virage mais en perturbant non pas le temps de planification disponible comme Patla et coll. [Patla1999] mais les mouvements de la tête. Ainsi ils altéraient la vision, le système vestibulaire et la proprioception du cou, ce qui engendrait une perturbation de l'activité du système nerveux central. Leurs résultats sont très intéressants car ils viennent compléter les résultats de Patla et coll. [Patla1999], en confirmant que la stratégie de réorientation est initiée par les mouvements de la tête, suivi de la réorientation du tronc, le tout permettant au final une nouvelle direction du corps total (fig. 1.11).

Tous ces résultats témoignent du fait que la réorientation de la tête n'est pas simplement une conséquence de la réorientation totale du corps. Une première hypothèse possible est que la tête et le tronc présentent des caractéristiques inertielles différentes [Biguer1982]. Cependant, les études semblent plus unanimes sur une raison neuronale à cela. Comme le postulent Pozzo et coll. [Pozzo1990, Pozzo1995] avec différentes tâches de locomotion, le contrôle neuronal des mouvements de la tête de manière prioritaire



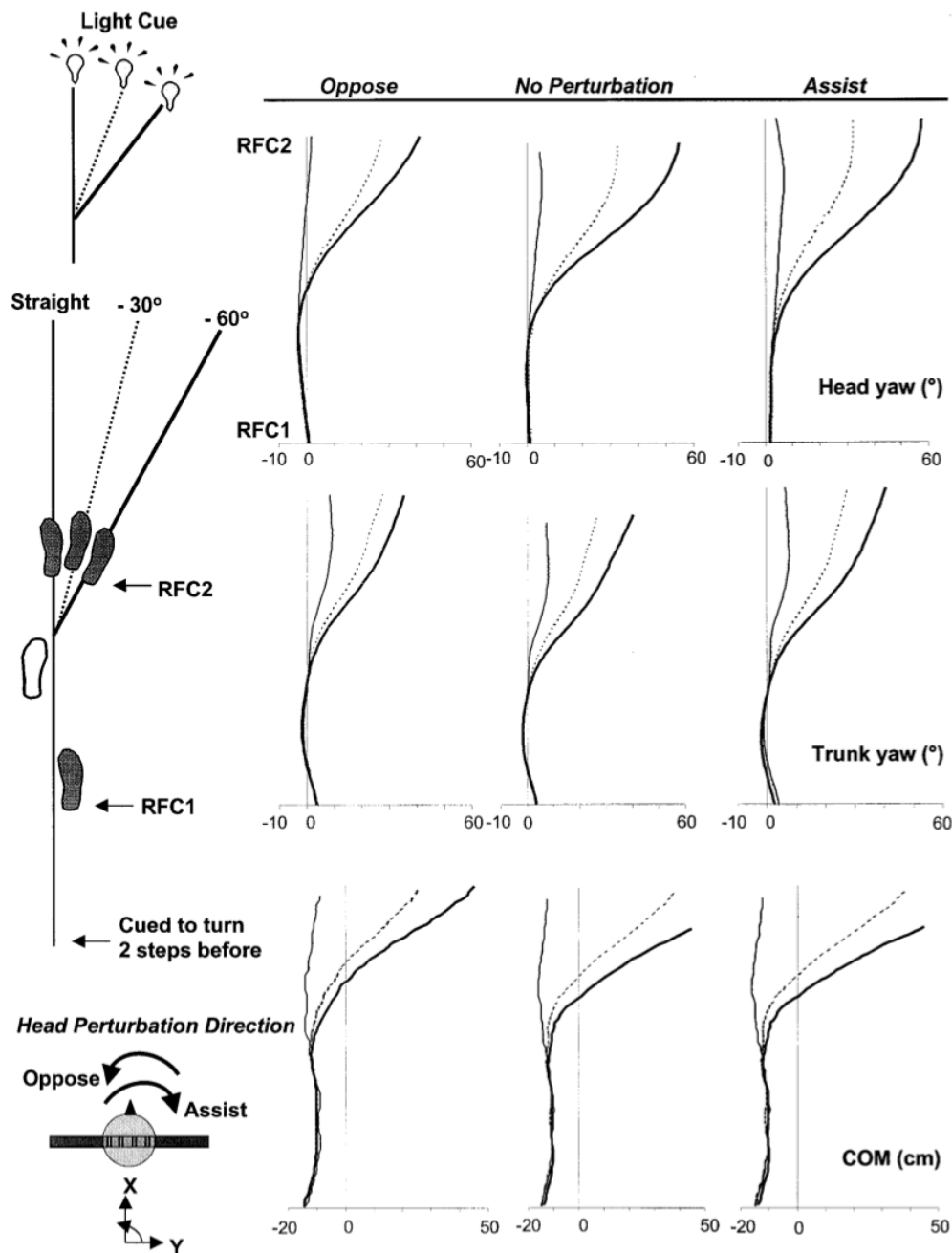


Figure 1.11 - Résultats témoignant de la stratégie de réorientation initié par la tête, puis suivie par le tronc et par le corps global, selon Vallis et coll. (2001)

jouerait un rôle dans la coordination tronc/jambes. Dans le même ordre d'idée, Flanders et coll. [Flanders1999], confirment le fait que la stabilisation de la tête et du regard dans l'espace confèrent une plate forme pour la coordination du corps entier durant la locomotion. Toujours dans cet axe de réflexion, Hollands et coll. [Hollands2001] acquiescent cette même hypothèse, à savoir que l'anticipation (250ms) de la tête contrôlée par le système nerveux central doit permettre de donner au corps entier une base stable pour la réorientation. Ces derniers [Hollands2001] relatent que le contrôle des mouvements

des yeux joue un rôle important dans le développement et la maintenance d'un référentiel pour le mouvement du corps. Ce réalignement de la tête durant le changement de direction est rendu possible grâce au système nerveux central, qui possède une base de référence centrée en premier lieu sur le respect de l'alignement de la tête. A ce sujet, des études neurophysiologiques ont identifiés des " head directions cell " (cellules de lieu), qui sont spécifiquement activées lorsque la tête est orientée dans une direction, dans le thalamus et postsubiculum du rat [McNaughton1996] et dans le presubiculum du primate [Robertson1999]. En somme, le contrôle et la gestion de la vision constituent donc une composante primordiale pour la régulation et l'adaptation "online" de la locomotion. Par conséquent, la réorientation anticipée de la tête constitue une composante importante dans le contrôle de la direction [Hollands2001]. Pour compléter de manière plus précise ces données, issues pour la majeure partie du champ des neurosciences, et parce que c'est précisément ce qui fera l'objet de notre étude, il est indispensable que nous analysions maintenant ces données d'un point de vue biomécanique. Qu'en est-il d'un point de vue cinématique et cinétique lors du changement de direction ?

### 1.2.3.2 Biomécanique du changement de direction

Evoluer autour d'un obstacle ou encore changer de direction requiert une adaptation dynamique de la relation entre le corps et l'environnement. Trois systèmes sensoriels sont impliqués dans ce processus : la vision, le système vestibulaire et la proprioception [Hollands2001]. La résultante de ces systèmes s'exprime par une gestion "online" de la direction poursuivie, qui va permettre une réorientation totale du corps et une régulation du cycle de marche en cours de réalisation [Patla1991]. Patla et coll. [Patla1999] notent que les changements cinématiques généraux du corps nécessaires pour cette réorientation sont : l'orientation du système visuel (que nous avons déjà abordé) et le contrôle du CM dans le plan médio-latéral (M/L).

#### 1.2.3.2.1 Contrôle du CM dans le plan medio-latéral

La position du CM global d'un individu dans le plan M/L peut être régulé par le placement des appuis et par le contrôle du pendule qu'est le corps.

#### Placement approprié des appuis

Cette première stratégie pour translaté le CM implique un contrôle du placement des pieds via les mouvements d'abduction/adduction de la hanche durant la phase d'oscillation du pas précédent. L'augmentation de l'activité d'abduction de la hanche va augmenter la largeur du pas et la diminution de l'activité de l'abducteur (ou augmentation adducteur) va diminuer cette même largeur de pas [Winter1995]. Ainsi, le placement des pieds va déterminer la position du centre de pression (CP). C'est la différence entre le CP et le CM qui va déterminer l'intensité de l'accélération et la direction du CM [Winter1995]. Ainsi s'instaure un jeu de positionnement des appuis et de différence de

projection du CP et du CM permettant d'imprimer la nouvelle direction.

## Contrôle du pendule

Cette seconde stratégie envisage de contrôler le pendule qu'est le corps par l'action appropriée des muscles de la cheville (fléchisseur/extenseur) et/ou de la musculature des hanches et du tronc [Mackinnon1993, Winter1995]. Deux théories sont possibles : i) le contrôle du "pendule inversé" dans le plan frontal par l'activité des muscles de la cheville (fléchisseurs/extenseurs). Cependant, ces muscles étant assez faibles et l'inertie du pendule assez large, la stratégie ne s'avère que peu effective réellement [Winter1995]. ii) la "stratégie des hanches" est elle plus envisageable et influente de part un contrôle des muscles des hanches et du tronc [Horak1986]. Le corps serait en fait contrôlé comme un "double pendule" en générant des directions opposées aux membres inférieurs et au haut du corps, permettant ainsi le déplacement du CM sur la droite ou la gauche. Patla et coll. [Patla1999] ont démontré qu'une stratégie des hanches M/L était adoptée durant les changements de direction pendant la locomotion. Cette stratégie est permise notamment grâce aux mouvements de "roulis" du tronc dans la direction opposée. Cette stratégie est initiée lors du dernier appui avant le changement de direction et se prolonge durant la phase de non appui de l'autre pied. Ces mouvements de "roulis" du tronc dans la direction opposée durant la réorientation sont clairement confirmés par Hollands et coll. [Hollands2001]. Ils sont en accord avec les résultats de Patla et coll. [Patla1999] sur le fait que la stratégie par les hanches est utilisée pour contrôler l'accélération M/L du CM. De plus Hollands et coll. [Hollands2001] ajoute qu'une très significative corrélation existe entre l'amplitude du roll du tronc et le déplacement du CM pendant la transition.

### 1.2.3.2.2 Bilan

En somme, lorsque la situation n'est pas critique temporellement, la stratégie de remplacement des pieds est envisageable. Mais lorsque la situation nécessite un déplacement du CM efficace et rapide, la stratégie des hanches par l'intermédiaire de l'action des muscles de la hanche et du tronc sera plus effective [Patla1999]. Le corps fonctionne alors en "double pendule", où les parties supérieures et inférieures du corps ont des mouvements opposés. Or, la masse corporelle étant majoritairement concentrée dans la partie supérieure du corps, le contrôle du roll du tronc va majoritairement permettre cette stratégie des hanches et ce déplacement du CM. Si l'on récapitule, il y a donc réorientation de la tête puis du tronc, suivi enfin de la réorientation du CM, ce qui permet au final la réorientation du corps global. Comme nous venons de le voir, les mécanismes du changement de direction et du contrôle online de la direction ont fortement retenu l'attention de nombreux chercheurs. Notre travail n'envisage en aucun cas la remise en cause de tout ceci, mais bien au contraire l'utilisation de ces résultats dans un but d'analyse d'une situation sportive bien particulière, le duel 1 vs. 1 au rugby, et qui plus est l'analyse biomécanique du mouvement de feinte. Ces derniers présentent non seulement une logique biomécanique : effectuer à terme un changement de direction pour éviter le défenseur ; mais également tactique : indiquer et faire croire une mauvaise direction au défenseur. La compréhension de ces stratégies corporelles nous intéresse

tout particulièrement ici, car elles peuvent être mises en lien avec la stratégie perceptive d'un protagoniste.

### 1.3 Analyse perceptive des protagonistes au cours du duel

La perception est ce phénomène psychologique nous reliant au monde sensible par l'intermédiaire de nos sens. Elle implique par conséquent la mise en jeu de nos cinq sens : l'ouïe, la vue, l'odorat, le toucher et le goût ; chacun d'entre eux se déclinant en une voie perceptive : la perception auditive, visuelle, olfactive, tactile et gustative. Cette perception est caractérisée par une conversion des énergies sensorielles en énergies nerveuses transmises au cerveau. Elle nous permet ainsi de réagir aux stimulations extérieures et de maintenir constant notre milieu intérieur. Cette capacité à percevoir et à réagir efficacement est un facteur déterminant de la performance sportive [Abernethy1993a, Starkes1993, Williams1999].

L'expert est celui qui est capable de prendre les informations sensorielles les plus pertinentes, et ce dans le délai le plus court. Or, dans le cadre de duels sportifs, il semblerait que ce soit principalement la perception visuelle qui prédomine. En effet, comme nous le confirme Prévost [Prévost2003] dans ses travaux, si les informations visuelles ne constituent pas l'unique source d'informations *"La vision constitue, à n'en pas douter, le canal privilégié par lequel nous explorons, évoluons et interagissons avec notre environnement"*.



Figure 1.12 - Gardien novice



Figure 1.13 - Gardien expert

Ainsi, nous comprenons aisément que l'expert sportif (fig. 1.13), comparativement au novice (fig. 1.12), est celui qui exploitera au mieux l'action opposée en retirant les informations visuelles les plus pertinentes et en les utilisant pour répondre rapidement et efficacement à l'action adverse [Shim2005, Abernethy1987a, Abernethy1990a, Abernethy1990b]. Cette capacité à réagir rapidement et précisément aux variations de l'environnement est un réel déterminant de la performance [Singer1994, Singer1996]. Tout ceci explique la relation fermée entre perception et action qu'entretient le sport. La contrainte temporelle inhérente aux tâches sportives oblige les acteurs à extraire les

informations visuelles les plus pertinentes et à les utiliser pour anticiper rapidement le mouvement adverse. C'est pourquoi, pour étudier la perception experte, les chercheurs ont examiné les indices visuels permettant l'anticipation chez l'expert et ce dans différentes activités. Ainsi, Singer et coll. [Singer1996] ont montré que les joueurs de tennis experts ont un temps de réaction plus court ainsi qu'une meilleure précision dans leur anticipation comparativement aux novices. En tennis de table, Ripoll et Latiri [Ripoll1997] évoquent des résultats qui vont dans le même sens en montrant que la vitesse de réaction à des stimuli visuels est dépendante du niveau de performance. Mais encore, en football [Williams1994] ont constaté une prise de décision plus rapide chez les joueurs de haut niveau. En bref, cette diminution du temps de réaction chez les experts, que ce soit en tennis [Shim2005, Shim2006, Jones1978, Singer1996, Ward2002] en hockey sur glace [Salmela1979], en badminton [Abernethy1988, Abernethy1987b], en squash [Abernethy1990a, Abernethy2001] ou en football [Williams1994, Savelsbergh2002] s'explique par une reconnaissance très tôt des indices pertinents dans la situation. Ces derniers permettent d'anticiper et ainsi de prévoir les actions à venir de l'adversaire [Abernethy1987a].

En somme, la perception experte requiert deux choses intimement liées : une stratégie visuelle efficace sous la contrainte ("au bon endroit") ainsi qu'une réponse motrice "au bon moment".

### 1.3.1 La perception en sport : ses méthodes d'investigation

Après avoir mis en évidence les déterminants d'une perception experte en sport, il nous semble judicieux d'aborder les méthodologies utilisées lors de ces différentes études. Nous verrons également qu'il est possible de différencier les méthodes "subjectives" et "objectives".

#### 1.3.1.1 Méthodes subjectives

Afin de comprendre l'activité perceptive des protagonistes dans une situation sportive, il est possible d'effectuer des mesures dites "subjectives". Cette méthodologie est issue des sciences humaines et sociales. Elle consiste, par l'intermédiaire de questionnaires ou d'entretiens, à formaliser le ressenti des sportifs vis-à-vis de leur pratique. La finalité étant d'essayer de proposer une synthèse la plus objective possible des informations recueillies auprès d'une population homogène en terme de pratique, de niveau de pratique, ou encore de poste occupé dans le collectif. C'est précisément ce que Debanne [Debanne2003] a réalisé en handball pour étudier l'activité perceptive et décisionnelle des gardiens de but. Par l'intermédiaire de questionnaires, il a ainsi mis en évidence, entre autres, que les principales informations visuelles pour le gardien de but se situent au niveau des segments porteurs de balle (ligne épaule, bras, coude, poignet, ballon).

Seulement, ce type d'analyse ne permet pas de s'affranchir de la représentation du sujet de sa propre activité. Il apparaît objectivement difficile d'affirmer que ce que le sujet "pense faire", c'est ce qu'il fait vraiment. Mouchet [Mouchet2005] en proposant un travail sur les prises de décisions tactiques des joueurs de rugby, tente de s'affranchir de cela. Ce dernier aborde les problèmes méthodologiques que posent la complexité et la subjectivité des décisions. Il adopte ainsi une posture épistémologique qui consiste à appréhender la complexité [Le Moigne1999] par une approche systémique, en prenant en compte le point de vue du sujet [Vermersch2000]. Il propose précisément "d'opérer un renversement conceptuel, qui consiste à placer le point de vue du sujet, comme prioritaire pour comprendre l'organisation de son activité décisionnelle" [Mouchet2005]. Néanmoins, malgré cette volonté de prendre en compte la complexité d'une situation, il apparaît difficile de témoigner de résultats objectifs dans ce cas.

### 1.3.1.2 Méthodes objectives

Il est également possible d'envisager des mesures objectives de l'activité décisionnelle. Ces dernières ont montré que l'anticipation est une caractéristique des experts et qu'elle est élaborée à partir d'une stratégie de recherche visuelle efficace utilisant des indices pertinents. Pour cela, trois techniques ont principalement été utilisées : l'analyse oculométrique (dit "Eye Tracking" selon l'appellation anglo-saxonne), l'occultation, et la dégradation de l'image.

#### 1.3.1.2.1 Analyse oculométrique

Celle-ci permet d'étudier les stratégies visuelles des experts en montrant les points de fixation des yeux et leur durée. En effet, l'importance de nos centrations visuelles aurait un rôle déterminant dans notre capacité de décision [Yarbus1967, Mackworth1967]. Le premier lieu d'utilisation de cette technique fut le laboratoire. Les participants se voyaient ainsi présenter des diapositives représentant des situations de jeu [Bard1976, Tyldesley1982]. Le but étant de comprendre les différences de stratégies visuelles entre experts et novices. L'une de ces études a ainsi analysé la stratégie visuelle des gardiens de but experts et novices face à des diapositives représentant une situation de penalty [Tyldesley1982]. Les résultats sont tels que les experts auraient une stratégie visuelle orientée dans un premier temps sur la hanche et le membre inférieur pour progressivement évoluer vers le haut du corps. Ces résultats se sont vus vérifier par la suite [Williams2003]. Cependant, pour prendre en considération l'ensemble des informations visuelles émanant d'un environnement dynamique de jeu, il était nécessaire de faire évoluer les stimuli d'expérimentation d'une image statique à une vidéo. C'est ainsi que les oculomètres couplés à un stimulus vidéo ont été utilisés, entre autres, pour étudier le duel en tennis [Williams2002], les stratégies en football [Williams1998] ou encore le duel gardien de but/tireur en football [Savelsbergh2002]. Prenons pour simple exemple le baseball (fig. 1.14), où il a été montré que les experts fixent la zone où la balle a été lâchée, tandis que les novices alternent les fixations entre la tête du lanceur et la zone de lâcher [Shank1987].



Figure 1.14 - Oculométrie et baseball

Enfin, des études de terrain ont utilisé l'analyse oculométrique en contexte réel de jeu [Panchuk2006]. Il a notamment été montré que les gardiens de but de hockey sur glace, afin d'anticiper la trajectoire du tir, portaient leur attention sur la crosse avant le contact avec le palet [Bard1981]. Dans le même esprit d'autres études ont été menées, entre autres, dans le domaine du golf, du basket et du volley-ball [Vickers1992, Vickers1996, Vickers1997]. Néanmoins, malgré les informations intéressantes que peut fournir cette technique, elle présente une critique majeure. En effet, bien souvent les résultats obtenus sont équivoques d'une étude à l'autre. En tennis, Goulet et coll. [Goulet1989] montrent que les experts fixent principalement la raquette et le bras alors que les novices fixent uniquement la balle. Mais encore Ward et coll. [Ward2002] montrent eux que les experts passent plus de temps à fixer l'épaule principale et la région du bassin alors que les novices se centrent sur la raquette. Enfin encore, Singer et coll. [Singer1994] trouvent une différence minime entre experts et novices lorsqu'ils observent un service. De telles différences de résultats interrogent sur la fiabilité de cette technique. Ces contradictions s'expliquent principalement par la possibilité de fixer un objet sans pour autant en extraire de l'information [Papin1984]. C'est précisément la différence entre "regarder", qui implique une fixation sur la fovéa et "voir" qui implique des processus de traitement de l'information [Abernethy1988]. Une autre explication de ces incohérences réside dans le fait qu'il est possible de fixer un point dans le champ visuel tout en ne prenant en compte que les informations périphériques [Williams2000].

### 1.3.1.2.2 Occultation

Cette seconde méthode, consiste à présenter au sujet un affichage visuel d'une action adverse et à manipuler cet affichage par des occultations temporelles de mouvement ou par des occultations spatiales de certains segments. L'utilisation courante montre effectivement une action adverse que l'on stoppe avant ou après un événement jugé comme critique, avant le contact balle-raquette en tennis [Jones1978], le contact balle-pied en foot [Williams1993]. L'observateur doit alors prédire le devenir du mouvement, la direction de la balle [Abernethy1987b]. Contrairement à l'analyse oculométrique, les

résultats obtenus sont plus uniformes. En tennis par exemple, il a été démontré à plusieurs reprises que les informations visuelles de la raquette de l'adversaire et du bras sont indispensables pour une anticipation efficace [Abernethy1987a, Abernethy1987b, Abernethy1990a]. Cette technique a ainsi été utilisée en tennis [Jones1978, Scott1998], en squash [Abernethy1990b], ou encore pour étudier la prise de décision en karaté [Mori2002]. Concernant l'objet d'étude qui est le nôtre ici, à savoir les stratégies de feinte de corps de rugby, notons qu'une étude de Jackson et coll. [Jackson2006] a utilisé ce procédé (Fig. 1.15). Nous reviendrons bien entendu plus en détails sur cette étude par la suite.

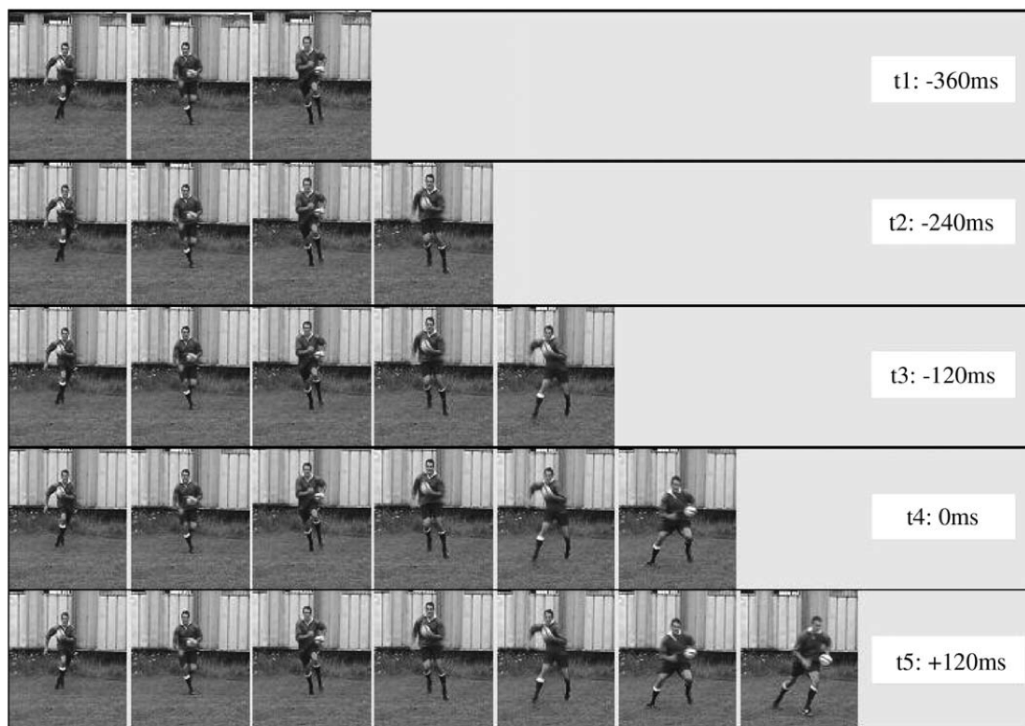


Figure 1.15 - Représentation des différents temps d'occultation de l'étude de Jackson et coll. [Jackson2006]

### 1.3.1.2.3 Dégradation de l'image

Elle consiste à modifier, altérer une situation visuelle de référence. Son utilisation dans le domaine sportif permet d'isoler les invariants visuels minimums nécessaires à la réalisation de l'action. En effet, comme nous avons eu l'occasion de le mentionner plus tôt dans ce document, de multiples travaux [Johansson1973, Barclay1978], ont démontré que des actions motrices peuvent être perçues avec précision à partir d'informations visuelles limitées. Il est alors possible d'intervenir sur plusieurs paramètres comme la vision stéréoscopique (vision 3D ou 2D), la qualité de l'image (taux de pixellisation, texture, type de représentation...) ou l'animation de l'image (c'est-à-dire de type photo



ou vidéo). De nombreuses études ont notamment utilisé la technique du point light display (PLD). Johansson [Johansson1973] fut le premier en montrant qu'il était possible de reconnaître le mouvement biologique (dit "biological motion"). En sport, le PLD a été utilisé, par exemple, en squash [Abernethy2001] ou en tennis [Ward2002] pour montrer la différence entre les experts et les novices dans l'utilisation des informations cinématiques pour l'anticipation. Plus récemment, notons les travaux de Vignais et coll. [Vignais2009, Vignais2010] qui ont mis en place un protocole visant à évaluer l'influence du niveau de dégradation graphique d'un tireur de handball virtuel sur la perception et la réponse motrice du gardien de but (fig. 1.16). Ils ont montré que le niveau de détails n'influencait pas la performance motrice lors de la tâche en mouvement mais que néanmoins lors d'une tâche de jugement le niveau de dégradation du ballon influence la faculté des gardiens à prédire la position finale dans le but.

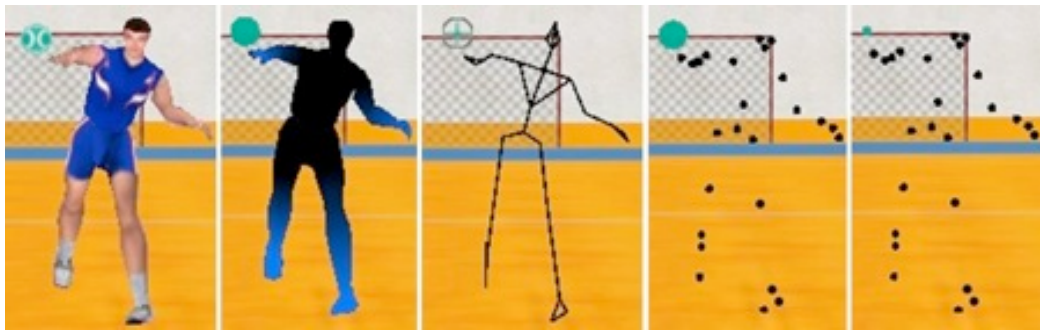


Figure 1.16 - Représentation des différents niveaux de dégradation des études de Vignais et coll. [Vignais2009, Vignais2010]

### 1.3.2 Approche conceptuelle de la relation perception-action

Après avoir dressé un bilan de la perception experte, de ses déterminants, des méthodologies employées pour l'étudier et de son indiscutable importance pour une réponse motrice efficiente, il devient indispensable d'aborder la relation perception-action de manière plus théorique et conceptuelle. En effet, dans les études exposées jusqu'à maintenant, la perception est trop souvent envisagée comme une prérogative à l'action, elle exerce un rôle passif de collecteur d'informations issues de nos différentes voies perceptives. Voilà ce qui est couramment admis. Or, comme nous le précisait Gibson [Gibson1979] "Nous devons percevoir pour agir, mais nous devons également agir pour percevoir". La relation n'est donc pas à envisager de manière univoque mais bel et bien comme un couplage, où chacun est utile à la cause de l'autre. Le cerveau n'est donc pas un simple collecteur et sélectionneur, il doit être considéré comme un simulateur et compilateur [Berthoz1997]. Comme le fait remarquer Berthoz [Berthoz1997], "cette idée n'est pas neuve". De multiples auteurs tels que Gibson [Gibson1979], Bernstein [Bernstein1967], ont contribué à effacer cette apparente dichotomie entre per-

ception et action et ont permis d'entrevoir la perception comme une "action simulée" [Berthoz1997]. Dans cette section nous allons donc aborder cette relation et surtout l'ancrage théorique que nous soutenons vis à vis de celle-ci. La toute logique implique donc que nous débutions ceci par un rappel sur les différences entre l'approche directe et indirecte de la relation perception-action.

### 1.3.2.1 Approche directe vs. indirecte de la relation perception-action

Agir c'est non seulement être en mesure de traiter de l'information mais aussi et surtout d'être capable de modifier son comportement en fonction de l'évolution de ces informations. Le cerveau a ici un rôle de comparateur, de vérificateur, puis d'ajusteur si nécessaire. Il compare sans cesse l'action qu'il est en train de commander et les informations sensorielles qu'il reçoit. Il peut donc tenter de réajuster dans le cas où il semblerait y avoir désaccord. Seulement, si tout cela semble aisé lors de la marche, du jogging, ou lors de tâches quotidiennes simples, quand est-il de cette comparaison, de cette vérification et éventuellement de cet ajustement dans la situation sportive présentant une forte contrainte temporelle, une forte variabilité et une forte instabilité ? Cette question permet de mettre en avant deux choses. La première est qu'il est aisé de comprendre que l'expert sportif, pour être performant, est naturellement dépendant des informations spatio-temporelles que lui donne à voir l'environnement dans lequel il interagit [Williams1999]. Elles sont à même de l'informer sur le moment et l'endroit où il va devoir intervenir. La seconde, plus pointue, est qu'une telle question interroge la relation entre perception et action. Le débat est alors lancé.

Le premier courant de pensée envisage une relation indirecte entre perception et action. Les deux processus sont alors appréhendés comme distincts et indépendants. La médiation entre les deux s'articulerait via des processus internes [Handford1997]. Les informations sensorielles issues de l'environnement sont ainsi considérées comme vides de sens, elles ne représentent que des " entrées " utilisées et interprétées par les structures dites " cognitives " du cerveau. Notons ici que c'est pour cette raison que cette approche est qualifiée de " cognitive ". Les perceptions sont au service de la construction des représentations internes. Schématiquement, selon cette approche, le processus global faisant passer de la perception à l'action peut être envisagé en trois temps : le stade perceptif, le stade décisionnel et enfin le stade moteur.

Au cours du stade perceptif, l'acteur, par l'intermédiaire de ses organes sensoriels, va identifier et sélectionner les informations pertinentes pour la réalisation de son action. Ce prélèvement d'informations se doit d'être sélectif étant donné la quantité d'informations présente dans l'environnement et les capacités cognitives limitées du sujet [Hyman1953]. En effet, afin de produire une réponse motrice unique et adaptée il est important que l'acteur retienne les informations les plus adéquates, c'est à dire celles présentant un contenu informationnel riche au regard de la situation. Les données ainsi prélevées dans l'environnement sont alors agencées et comparées aux connaissances déjà présentes en mémoire. En ce sens, l'approche cognitive met en avant l'expérience

et son rôle primordial dans cette construction de " base de données " disponible en mémoire. Chaque nouvelle situation, source d'une configuration informationnelle particulière, va donc contribuer à la construction de cette base de connaissances stockées en mémoire. L'expert sportif, selon cette approche, est donc caractérisé par une base de connaissances large et complexe lui permettant de faire face de manière plus efficace à un grand nombre de situations (par exemple en basket-ball, [French1987]).

En possession d'une quantité d'informations, plus ou moins pertinente en fonction de son niveau d'expertise, le sujet abordera ensuite le stade décisionnel. Ce dernier consiste à mettre en œuvre la réponse motrice finale réfléchie et décidée au regard des informations émanant du stade perceptif [Kornblum1973]. Ainsi il est compréhensible qu'une quantité importante d'informations engendrera une prise de décision plus longue [Hyman1953].

Enfin, le stade moteur a pour objectif de mettre en œuvre la réponse comportementale élaborée au cours de la prise de décision. L'approche cognitive propose donc un mode de fonctionnement computationnel de la relation perception-action. L'ordre d'intervention des différents stades serait ainsi toujours identique : perception, décision, action. Ce mode de pensée a guidé de nombreuses études dans le domaine du sport. La conclusion majeure de ces travaux est telle que l'expert serait doté : (i) d'une faculté d'anticipation accrue (exemple en squash [Abernethy1990a] ; cricket [Abernethy1984] ; tennis [Jones1978] ; hockey sur glace [Salmela1979] ; rugby [Jackson2006] ; football [Williams1993] (ii) de stratégies visuelles pertinentes et plus adaptées (exemple en football [Savelsbergh2002] ; boxe française [Ripoll1995] (iii) et enfin d'une prise de décision plus efficace (exemple en volley [Macquet2009]. Il est donc en mesure de reconnaître des schémas de jeu familier de manière plus pertinentes et plus rapide, et de proposer une réponse motrice également plus rapide.

Seulement, bien que ces études soient reconnues, louables et justifiées, il est selon nous indispensable d'envisager une alternative à l'approche cognitive. Si l'on appréhende la situation sportive dans son essence même et sous l'auspice de sa contrainte majeure, à savoir, le temps, alors on entrevoit toutes les limites d'une approche computationnelle. En effet, la majorité des actions sportives étant extrêmement contrainte temporellement il apparaît inenvisageable d'appréhender une relation indirecte entre perception et action. Un mode de fonctionnement direct entre les deux phénomènes semble indispensable pour faire face aux situations hautement contraintes temporellement. C'est précisément le fondement de la seconde approche que nous voulons aborder maintenant.

Ce second courant de pensée prône, comme nous venons de le suggérer, une relation non pas indirecte (contrôlée par des représentations internes) mais bel et bien directe de la relation entre perception et action. En d'autres termes, une relation circulaire, un couplage entre les deux phénomènes à même de réguler la relation entre un individu et son environnement. L'idée de cette approche serait de se focaliser sur les possibilités d'action que l'environnement suggère directement au sujet et non pas sur les représentations internes et complexes emmagasinées par celui-ci [Handford1997]. Ces dernières ne seraient pas recevables en temps que médiateur de la relation entre perception et action dans les situations hautement contraintes temporellement. En revanche, la manière dont les informations sensorielles évoluent au cours du temps dans l'environnement sont en mesure de guider directement l'action du sujet. C'est cette manière de penser qui fonde l'approche écologique. Nous proposons d'aborder celle-ci plus en détails et de voir

notamment en quoi elle peut/devrait être à la source de toute analyse de la relation entre perception et action dans le domaine du sport.

### 1.3.2.2 Approche écologique de la perception visuelle et de l'action en sport

Dans la vie de tous les jours tout comme sur un terrain de sport, nos actions sont dépendantes de notre environnement (autres piétons, adversaires, coéquipiers, ballon...). Au regard de l'approche écologique, la configuration de ce dernier doit permettre de suggérer de manière directe et sans traitement cognitif des possibilités d'actions au sujet. Cette manière de penser émane de la théorie de Gibson [Gibson1979] et de l'idée d'une relation directe entre l'acteur et son environnement. Il y aurait ainsi des lois de couplage entre les variables informationnelles disponibles dans l'environnement et les réponses motrices d'un sujet. En d'autres termes, les humains et animaux auraient la capacité à percevoir directement les opportunités d'actions émanant de l'environnement. Cette idée est encapsulée dans la notion d'affordance suggérée par Gibson [Gibson1979]. Ce concept explique en quoi l'environnement n'est pas décrit d'un point de vue physique (masse, taille...) mais en termes de possibilités d'actions disponibles pour l'acteur ; une poignée suggère que l'on puisse ouvrir une porte, un crayon suggère que l'on écrive... En rugby par exemple, cela peut se traduire par l'opportunité de passer entre deux joueurs que suggère un intervalle [Watson2010] (fig. 1.17).



Figure 1.17 - Affordance suggérée par un intervalle entre deux joueurs au rugby

Ces suggestions d'actions émanant directement de l'environnement seraient déterminées et possibles par l'intermédiaire du flux optique. Ce dernier fait référence au champ vectoriel créé par le mouvement de chaque point de l'environnement visuel (fig. 1.18). Il est dépendant des évolutions de l'environnement mais également des mouvements de l'observateur au sein de l'environnement. En ce sens, il est donc déterminant pour les tâches de déplacement et pour la navigation visuelle [Gibson1979].

Les affordances sont donc à même de fournir à l'observateur des informations visuelles

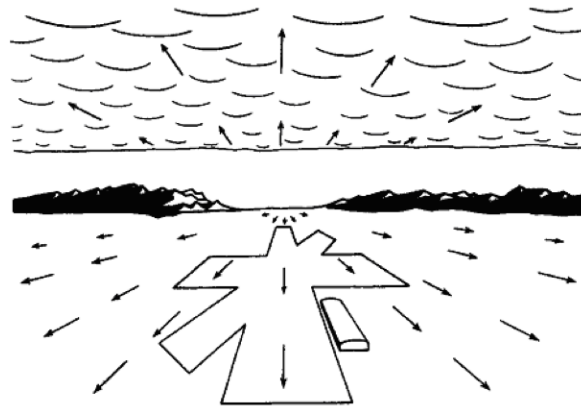


Figure 1.18 - Flux optique pour un observateur en translation (Gibson, 1986)

permettant de guider ses actions au quotidien mais également et surtout de faire face à des situations hautement contraintes et exigeantes que sont les situations sportives Fajen et coll. [Fajen2009]. Ce cadre d'analyse basé sur une approche écologique de la relation entre perception et action a ainsi été utilisé pour comprendre la prise de décision en sport [Araújo2005, Passos2008] ainsi que l'expertise [Dessing2010]. Prenons pour exemple les travaux de Passos et coll. [Passos2008], qui ont expliqué comment l'organisation d'une diade défenseur-attaquant au rugby était influencée au cours du temps par le couplage de différents paramètres tels que la vitesse relative entre les joueurs et la distance interpersonnelle. Ainsi, au regard de cette approche, l'expertise serait déterminée par la capacité à coupler son action à des affordances pertinentes et fines de l'environnement, et non pas à une capacité à programmer son action via des structures cognitives complexes tel que le suggère le courant de la perception indirecte. A tel point que Fajen et coll. [Fajen2009] ont récemment proposé de considérer cette approche écologique comme un principe qui devrait guider les travaux de recherche sur la perception et l'action en sport. Abordons maintenant plus en détails ce que sont les concepts clés de la théorie Gibsonienne.

### 1.3.2.2.1 Affordances

L'élément principal de la théorie Gibsonienne que nous souhaitons approfondir dans cette partie est le concept d'affordance. Comme nous l'avons expliqué, ce dernier fait référence aux possibilités d'actions qu'un environnement suggère à un observateur. Percevoir ces affordances nous permet de savoir les actions qui sont ou non envisageables dans l'environnement [Turvey1992]. Notons que cette relation n'est pas identique pour tout observateur mais bel et bien observateur-dépendant. Les affordances peuvent donc être perçues comme des propriétés spatio-temporelles invariantes de l'environnement à la fois objectives mais également et surtout subjectives [Fitch1978]. Elles sont en effet considérées comme calibrées par rapport au propre corps de l'observateur et calibrées par rapport aux réelles possibilités d'action de l'observateur. Afin d'illustrer cette idée abordons le travail de Warren et Whang [Warren1987] qui ont étudié la "passabilité" d'un observateur face à une porte. Ils ont montré comment l'affordance générée par

l'environnement dépend du rapport entre la largeur d'ouverture de la porte et la largeur des épaules de l'observateur. Ce ratio est en mesure de guider la prise de décision de l'observateur en lui indiquant un point critique (valeur de 1.3 pour ce ratio) au dessus duquel le sujet estime qu'il n'est plus possible de franchir la porte. Ce point critique est caractérisé par une décision partagée (50%) entre " je passe " et " je ne passe pas ". Comme l'illustre la figure 1.19 ce changement dans la prise de décision s'effectue autour d'une valeur de 1.30 du ratio. L'affordance permet ici de définir le moment où le sujet passera d'une décision à une autre, d'un mode d'action à un autre. Notons que ce rapport, bien qu'il soit un invariant spatio-temporel, est dépendant de chaque individu (et de sa propre largeur d'épaule). Dans le même ordre d'idée, de nombreuses études ont montré que la hauteur des yeux jouait également un rôle important sur la perception observateur-dépendant des affordances [Warren1987, Warren1984, Cornus1999].

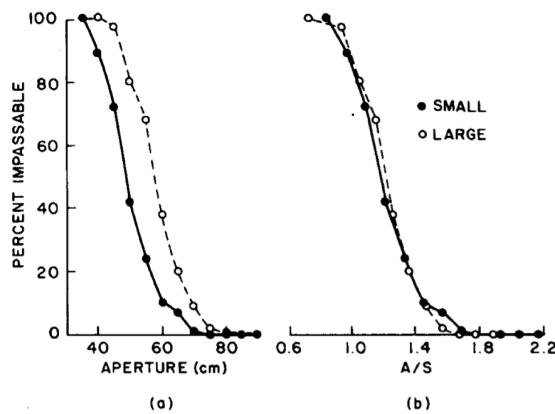


Figure 1.19 - Résultats de l'expérience de Warren et Whang [Warren1987], montrant le point critique de l'affordance (1.3)

En sport, si les affordances sont indéniablement calibrées par rapport au corps de l'observateur, il est également indispensable de mettre en avant le fait qu'elles sont calibrées par rapport aux réelles possibilités d'action de l'observateur [Pepping2000]. Pour exemple Pepping et Li [Pepping1997] ont montré que des novices étaient capables de percevoir la hauteur maximale à laquelle ils pouvaient sauter pour effectuer un bloc en volley-ball. En d'autres termes, ces novices sont en mesure d'évaluer leurs possibilités d'action non seulement en fonction de leur taille (paramètre body-based) mais aussi de leur capacité de saut (action based). Enfin, notons que ces affordances, tout particulièrement en sport, permettraient un contrôle prospectif des actions [Turvey1995]. Pour cela, une affordance nécessite d'être interprétée mathématiquement et dynamiquement afin d'encapsuler la manière dont elle évolue au cours du temps et ainsi être utilisée comme guide par l'observateur. C'est dans cette logique que Lee [Lee1998] proposa un contrôle prospectif du mouvement basé sur la fermeture d'intervalles présents dans l'environnement [Lee1998, Bootsma2003]. Ce concept, repose sur la théorie du tau que nous allons aborder maintenant.

### 1.3.2.2 Contrôle prospectif et théorie du Tau

Le champ optique d'un individu est défini par la distribution des points lumineux émanant de l'environnement projeté sur la rétine. Il constitue en quelque sorte une carte encapsulant la configuration de l'espace visuel d'un individu (distance, forme, surface. . .). Comme nous l'avons déjà précisé, le flux optique fait référence à la modification au cours du temps de ce champ optique et permet ainsi d'informer un observateur d'un état futur de l'environnement. C'est précisément ce caractère " temporel " du flux optique que David Lee [Lee1976] a exploité pour expliquer comment les informations visuelles sont en mesure : i) de nous renseigner sur le temps restant avant un événement futur ii) de guider prospectivement nos actions à l'aide d'une variable tau. Tau ( $\tau$ ) est une variable qui encapsule la manière dont un intervalle change au cours du temps d'un état actuel à un état final [Lee1998]. Numériquement, il se définit par le ratio entre l'ampleur actuelle de l'intervalle,  $x$ , et le taux de fermeture de cet intervalle (dérivée),  $\dot{x}$ , tel que  $\tau(x) = x/\dot{x}$ . Cette variable est donc à même de nous informer à chaque instant sur le temps restant avant la fermeture de cet intervalle. Elle peut ainsi être utilisée comme guide pour contrôler l'action. Ceci a été démontré dans un premier temps dans les tâches de freinage en voiture [Lee1976]. Dans cette expérience Lee montre comment les informations relatives au changement de taille, de vitesse et de décélération de l'intervalle entre la voiture et l'obstacle ne sont pas utiles. La seule information pertinente et utilisée simplement dans la régulation du freinage est le tau-dot (dérivée du tau). De multiples études ont suivi et ont montré qu'il était possible de réguler le " timing " d'un mouvement [Lee1981] ou de déterminer le moment d'arrivée [Regan1993] en utilisant la variable tau d'un intervalle entre un objet et son effecteur. Dans le domaine du sport, il a été montré que cette variable pouvait constituer un guide influençant le processus de décision et d'action. En rugby, Watson et coll. [Watson2010] (fig. 1.20) ont eux démontré que la prise de décision de passer ou pas, face à un intervalle entre deux joueurs au rugby était dépendante d'une telle variable.

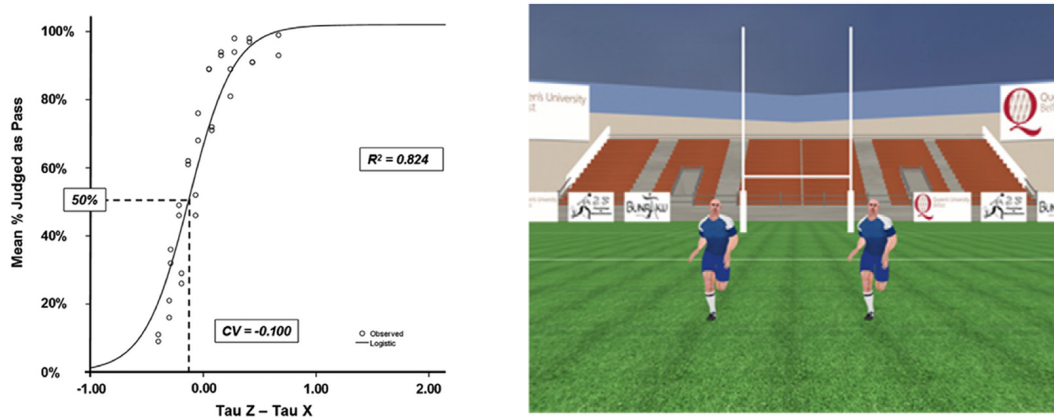


Figure 1.20 - Résultats de l'expérience de Watson et coll. (2010), montrant que la prise de décision (Mean % Judged as Pass) est corrélée à une combinaison de variables tau

Bien d'autres études encore ont investigué la régulation du " timing " d'une action à partir de cette théorie du tau [Lee1983, Savelsbergh1991, Bootsma1992, Correia2011].



En somme, nous comprenons parfaitement que dans le cadre de situations sportives ou le choix des actions à faire est restreint et fortement contraint, l'impact de ce type d'affordances est déterminant pour la performance.

### 1.3.2.3 Bilan

En somme, nous venons de montrer qu'il existe deux manières d'entrevoir la relation entre perception et action. Néanmoins, comme nous l'avons expliqué, l'hypothèse d'une approche directe de la relation s'avère crédible et justifiée. Les affordances gibsoniennes ont été clairement identifiées comme des opportunités d'action pour un acteur évoluant dans un environnement. Ces dernières sont spécifiques à l'acteur et dépendantes du flux optique. Dans ce sens, nous avons vu que le tau est une variable optique émanant du flux optique et encapsulant des données prospectives utilisables pour le contrôle de l'action adéquat. Dans les sports dynamiques comme le rugby, cette gestion prospective de l'action est indispensable car elle permet de déterminer la faisabilité d'une action "online". Sous l'égide de l'approche écologique, le travail présenté dans ce doctorat cherchera à identifier les informations optiques utilisées pour détecter une tentative de feinte d'un opposant. Pour ce faire, nous nous devons d'employer des méthodologies maintenant une adéquation optique entre l'acteur et l'environnement. L'idéal serait donc la situation "in situ". Mais cette dernière présente un biais : la non reproductibilité de la scène. Il est en effet parfaitement impossible de répéter de manière identique et standardisée une situation réelle et d'en tirer statistiquement et significativement des conclusions sur la perception visuelle. Dès lors, il devient indispensable d'utiliser une alternative à la situation "in situ". Cette alternative doit constituer notre situation de référence, permettant à la fois la standardisation, la reproductibilité et une adéquation optique avec la situation réelle de terrain. Or, la réalité virtuelle constitue un outil venant répondre à ce cahier des charges. Elle apparaît tout à fait pertinente et justifiée pour l'analyse des duels sportifs [Bideau2010]. Intéressons-nous maintenant à cet outil que nous utiliserons : la réalité virtuelle.

## 1.4 La réalité virtuelle, une solution pertinente pour l'étude de la relation perception-action

Comme nous venons de l'évoquer, il existe très peu de méthodes permettant de placer un sportif dans une situation 3D, reproductible et standardisable. En effet, les études réalisées ne remplissent bien souvent que deux de ces conditions. En réponse à cela, la réalité virtuelle constitue une alternative visiblement pertinente.

C'est en 1838, que Sir Charles Wheatstone inventa une visionneuse tridimensionnelle, le stéréoscope. Par la même, il posa les prémices de ce qui allait devenir un siècle et demi plus tard la réalité virtuelle. Aujourd'hui, utilisée dans différents domaines, elle vise la formation, la recherche ou de simples démonstrations. Elle est ainsi utilisée pour les



simulateurs de vol, en architecture, dans le domaine de l'aviation et de l'automobile pour la fabrication de pièces, mais aussi, bien évidemment pour les jeux vidéo. Son incroyable expansion est concomitante à l'augmentation des puissances de calcul des ordinateurs. Cela permet toujours plus de complexité et de réalisme. En effet, aujourd'hui, l'affichage tridimensionnel qu'elle propose permet de prétendre à un degré élevé d'immersion. Cependant, si elle semble s'être créée une place dans de nombreux domaines et à diverses fins, celui du sport reste encore peu investi. La réalité virtuelle permet pourtant de standardiser et de contrôler une situation pour en dégager des informations essentielles. Ce qui dans le domaine sportif rend possible la décomposition des mouvements spécifiques à chaque discipline et la reproduction des conditions d'entraînement [Bideau2003]. En effet, la standardisation et la reproductibilité que propose la réalité virtuelle permettent de palier au caractère unique de la situation sportive.

### 1.4.1 Définitions

Au regard de la littérature, il apparaît possible de mettre en évidence deux types de définitions : technologique et conceptuelle.

#### 1.4.1.1 Technologique

Elle fait référence aux travaux précurseurs de Sutherland dans les années 60. Ce dernier créa un système permettant d'avoir une vision stéréoscopique en 3 dimensions : le Head Mounted Display (HMD) [Sutherland1968]. Equipé de lunettes, le sujet peut évoluer dans un monde en tournant la tête (fig. 1.21). Ce dispositif s'est peu à peu amélioré par la suite avec l'apparition de gants sensibles ("data gloves") permettant de donner des informations tactiles au sujet. C'est environ 20 ans après ces travaux technologiques novateurs de Sutherland, en 1986, que la notion de "réalité virtuelle" a été créée par Jaron Larnier pour décrire le système HMD. Il est possible de distinguer



Figure 1.21 - Système HMD

l'environnement dit "immersif" et "non-immersif". Le second engendre selon Psotka [Psotka1995] une technologie particulière de type "desktop display" : c'est à dire basée sur la projection d'une image en perspective sur un écran plat. Le premier, mis en

évidence récemment avec les travaux de Slater et coll. [Slater1996], cherche à produire une image en vision stéréoscopique. Il nécessite pour cela des outils technologiques tels que le système HMD et les "data gloves" afin de placer le sujet dans un milieu interactif, en temps réel, présentant un haut degré d'immersion. L'environnement immersif est donc plus riche en informations sensorielles (présentées au sujet) sur le plan quantitatif et qualitatif que l'environnement non immersif. Cependant, il n'est pas suffisant de se cantonner à cet aspect technologique de la définition de la réalité virtuelle, il nous semble important d'aborder également le champ conceptuel de celle-ci.

#### 1.4.1.2 Conceptuelle

Une première constatation est que l'association du terme "réalité" à celui de "virtuelle" apparaît comme un paradoxe, une oxymore. Dès lors, certains préfèrent associer "virtuel" à d'autres termes : environnement, monde... Ellis [Ellis1991] s'attache, lui, à définir la "virtualisation" comme "le processus par lequel un individu interprète une impression sensorielle comme étant un objet appartenant à un environnement autre que dans celui où il existe physiquement". Il définit trois niveaux de virtualisation : l'image virtuelle (qualité de perception relativement faible, la perception d'une image virtuelle, d'un objet en profondeur), l'espace virtuel (qualité moyenne, la perception en profondeur au moyen de textures) et l'environnement virtuel (très bonne qualité, le champ de vision est plus large, parallaxe du mouvement).

Toujours selon Ellis, la virtualisation est dépendante du phénomène de perception. C'est effectivement la perception d'un objet qui va permettre de le comprendre. Ainsi, la virtualisation représente un processus perceptif et compréhensif. Le niveau de perception sera donc d'autant plus important que la qualité de l'environnement virtuel le sera également. Hand [Hand1994] parle lui de réalité virtuelle lorsque : "nous interagissons avec quelque chose qui n'est pas réel, mais qui peut être considéré comme étant réel pendant qu'on l'utilise".

En somme, quelque soit la définition, il semble unanimement admis que la réalité virtuelle permet de faire interagir l'individu avec un monde virtuel. Ce degré d'interaction nécessite d'être évalué. Ainsi, il est indispensable de développer une méthodologie permettant de quantifier le degré d'implication psychologique de l'individu dans un environnement virtuel. Pour cela, différentes techniques ont été envisagées, notamment pour évaluer ce que nous allons détailler maintenant, la notion de présence.

## 1.4.2 Une notion fondamentale : la présence

### 1.4.2.1 Définitions

Couramment, lorsque l'on parle de réalité virtuelle, il est question d'immersion. Cependant, l'immersion est différente de la notion de présence. La présence fait entrer une part psychologique de l'individu tandis que "l'immersion est une technologie, une technique d'interface entre l'homme et l'ordinateur et ne concerne pas l'état psychologique du sujet" [Vianin1995]. En bref, l'immersion caractérise l'interaction entre un individu et un monde virtuel, cette interaction étant rendue possible par l'intermédiaire d'informations sensorielles (vue, ouïe, odorat, kinesthésie...). Ces informations, indispensables au couplage homme-machine, sollicitent ce qu'on appelle des "interfaces comportementales". Elles sont couramment divisées en interfaces motrices (acquisition mouvement, capteurs, caméra...) et sensorielles (ce qui fait référence aux 5 sens, écran pour le visuel, lunettes pour 3D...). Cependant Fuchs et coll. [Fuchs2000] se sont intéressés à proposer une classification plus fine, en ajoutant une troisième catégorie, à savoir les interfaces sensorimotrices (retour de force pour ressentir son action). De la qualité de ces interfaces produites dépendra le sentiment d'immersion de l'individu dans l'environnement virtuel. L'immersion est donc à nuancer de la présence dans le sens où elle ne prend pas en compte l'affect psychologique du sujet. Par conséquent, la présence peut être définie comme : "le sentiment psychologique d'être dans l'environnement dont la base technologique est l'immersion... n'importe quel système d'immersion n'induit pas nécessairement de la présence chez tout le monde" [Slater1993]. Plusieurs nuances ont été amenées à cette définition.

Barfield et Weghorst [Barfield1993], entre autres, nous parlent de "présence virtuelle" comme étant "un état subjectif et hypothétique de conscience et d'implication dans un environnement non-présent". Mais encore, Steuer [Steuer1992] définit lui la "téléprésence" comme "l'expérience d'une présence dans un environnement au moyen d'un médium de communication... la présence se réfère aux perceptions naturelles d'un environnement, et la téléprésence se réfère à une perception médiatisée d'un environnement... cet environnement peut être un environnement virtuel animé mais non existant synthétisé par un ordinateur (par exemple un monde animé créé dans un jeu vidéo)"

Ce phénomène de présence peut, selon Hendrix [Hendrix1994], se retrouver dans beaucoup de domaines (pièce de théâtre, livre, réalité virtuelle...). La présence n'est donc pas un concept propre à la réalité virtuelle, et n'est d'autant plus pas nouveau. Aujourd'hui, face à l'habitude de voir des images cinématographiques, et malgré la progression de la qualité de l'image, le degré de présence est certainement moins important qu'à l'époque des frères Lumières (très rares sont les spectateurs à se lever de leur siège aujourd'hui au cinéma...). Néanmoins cette préoccupation de la présence est au cœur des réalités virtuelles. C'est bien ce que nous confirme Hendrix [Hendrix1994], en nous rappelant qu'un haut degré de présence est bel et bien l'objectif recherché lors de la création d'un monde virtuel.

En outre, pour pouvoir recréer un haut degré de présence, il est nécessaire d'en connaître les facteurs.

## 1.4.2.2 Les facteurs de la présence

Selon Slater et Usoh [Slater1993] il est possible de distinguer les facteurs externes et internes de la présence.

### 1.4.2.2.1 Les facteurs externes

Ils sont liés à la technologie, c'est-à-dire au matériel utilisé pour représenter l'environnement virtuel. On peut envisager, selon Steuer [Steuer1992], cinq points pour les facteurs externes : la richesse et la qualité des informations sensorielles, la cohérence de l'environnement, le degré d'interaction entre le sujet et l'environnement, la fidélité de la reproduction du corps virtuel du sujet (avatar) et un faible temps de latence (le plus proche possible de zéro) entre les actions du sujet et ses effets.

### 1.4.2.2.2 Les facteurs internes

Ils sont liés aux aspects psychologiques ; en d'autres termes, à la manière d'intérioriser les expériences d'un individu. Ces facteurs sont donc extrêmement subjectifs, et très différents d'un individu à un autre. Cette subjectivité caractérisée par des différences inter-individuelles de présence en environnement virtuel a été mise en évidence par Psocka et coll. [Psocka1995] puis confirmée par Hodgins et coll. [Hodgins1998] dans une étude sur l'influence du modèle géométrique pour un rendu 3D sur la perception. Cette étude a montré que les sujets perçoivent l'action comme plus réaliste face au modèle texturé et moins réaliste face au modèle en fil de fer, tandis que d'autres ne voient pas de différence. Notons que cette étude cherchant à tirer des conclusions pour un rendu 3D, s'est effectuée en 2D.

Ainsi dans un environnement graphique de faible qualité, les réactions dépendent de l'imagination de chacun. Le niveau de présence dépend donc de chaque individu, de son implication et de sa capacité à compléter l'environnement de synthèse par sa propre représentation du monde. Cependant, si des différences sont observables, il apparaît possible de tirer statistiquement sur un ensemble de population, des conclusions sur le degré de présence que peut induire un certain type d'environnement.

## 1.4.2.3 Les mesures du degré de présence

Avant de proposer une classification des différentes techniques de mesures du degré de présence, remarquons que peu d'études s'y sont intéressées, et qu'elles ont rencontré un certain nombre de difficultés [Hendrix1994]. Tout d'abord, la présence serait un phénomène multidimensionnel nécessitant la prise en compte de ces différentes dimensions. Mais encore, les mesures subjectives qui en sont faites posent un problème de validité [Barfield1993]. Enfin, comme nous avons pu le constater il n'existe pas de réel

consensus quant à cette notion qui aujourd'hui reste finalement encore floue. Cependant, malgré ces remarques plusieurs méthodologies de mesures de la présence ont été créées. Hendrix [Hendrix1994] les répartit en mesures objectives et subjectives de la présence.

#### 1.4.2.3.1 Mesures objectives

Pour les mesures objectives, Barfield et Weghorst [Barfield1993] ont mis en évidence certaines catégories d'indicateurs. On trouve ainsi des indicateurs physiologiques (fonction de la tension musculaire, des réponses oculaires et cardiovasculaires durant les événements virtuels), des indicateurs physiométriques (réponses corticales à l'expansion optique d'objets virtuels, diamètre de la pupille), des indicateurs de performance dans la réalisation d'une ou plusieurs tâches [Slater1996] en environnement virtuel (précision, rapidité...), des indicateurs de résolution de conflit (capacité du sujet à s'adapter aux réponses différentes et conflictuelles qu'engendrent les deux environnements : virtuel et réel), et des indicateurs du degré de désorientation du sujet (temps mis par le sujet pour se réadapter au monde réel).

#### 1.4.2.3.2 Mesures subjectives

Ces mesures subjectives font couramment référence à l'utilisation de questionnaires [Witmer1998, Usoh2000, Slater1999] afin d'évaluer psychologiquement le degré de présence d'un individu dans le monde virtuel. Etant donné le caractère complexe et multifactoriel de la notion de présence, il paraît difficile de valider ces mesures subjectives de la présence.

De ce fait, Hendrix [Hendrix1994] nous fait remarquer que "L'évaluation de la présence requiert à la fois des mesures subjectives et objectives. Ceci représente la forme de mesure la plus appropriée."

### 1.4.3 Réalité virtuelle et analyse de situations sportives

Comme le faisait remarquer Gibson [Gibson1979] lui-même "It is not true that 'the laboratory can never be like life'. The laboratory must be like life!" [Gibson1979]. En effet, le laboratoire se doit d'être au plus proche des conditions de vie de tous les jours pour mener des recherches dans le domaine de la perception-action. Cette condition est indispensable pour engendrer des comportements durant les expérimentations les plus proches possibles des comportements de la vie réelle. En ce sens la réalité virtuelle semble être une solution intéressante pour l'exploration de problématiques perceptives en sport. Comme nous avons pu le constater dans la section 1.3 les nombreuses études explorant la perception sportive ont utilisé des stimuli vidéo, avec pour conséquences de nombreuses limites et de faibles possibilités d'immersion. En effet, la majorité des

études issues de l'approche cognitive utilisaient des images statiques ou dynamiques via un écran. Le problème est que le point de vue est alors allocentrique, c'est à dire différent du réel point de vue que devrait avoir l'observateur (point de vue égocentrique). Cette contrainte peut entraîner un moindre reflet de l'expertise lors d'expériences sur la prise de décision en sport [Abernethy1993b]. Cela s'expliquerait par le fait que les informations normalement disponibles dans la scène réelle (et potentiellement utilisées par l'expert) peuvent ne pas être présentes avec un point de vue allocentrique. Cette hypothèse par laquelle le point de vue influencerait la prise de décision s'est vu vérifié dans de multiples études en sport [Helsen1999, Petit2008]. Enfin, il reste une critique majeure inhérente aux études perceptives en sport et que nous nous devons de mettre en évidence : elles sont réalisées pour la majeure partie avec un affichage bidimensionnel (2D). Ceci représente un véritable biais méthodologique. La 3D (troisième dimension) fournit en effet d'autres informations qui peuvent améliorer l'action. Mazyn et coll. [Mazyn2004] ont montré dans le cadre d'une tâche d'interception que la performance était meilleure avec une vision binoculaire comparativement à la même tâche réalisée en vision monoculaire. Mais encore, discuter de la perspective en trois dimensions implique que l'on aborde la notion de stéréovision. Cette dernière permet la perception de la profondeur et du relief à partir de plusieurs images d'une même scène, vue sous différents angles. Il semble qu'elle affecte la capacité à estimer la profondeur d'un objet 3D générée par ordinateur [Gaggioli2001].

Ces limites que nous avons mises en avant peuvent aujourd'hui être dépassées grâce à l'utilisation de la réalité virtuelle. Comparativement aux méthodes traditionnelles, elle permet i) la reproductibilité des séquences [Tarr2002] ii) un contrôle complet de l'environnement virtuel et des personnages virtuels [Bideau2004] iii) un point de vue stéréoscopique, qui joue un rôle important dans l'estimation de la profondeur des objets et pour la performance lors d'une tâche d'interception [Mazyn2004] iv) et l'opportunité d'immerger un sujet dans une scène visuelle à partir de son propre point de vue (égocentrique) et non avec un point de vue d'une caméra extérieure (allocentrique) [Mazyn2004, Sheridan1992]. Elle place donc l'individu dans une situation proche du réel, et permet un couplage action-perception de qualité. Par conséquent, il apparaît que contrairement aux méthodes traditionnelles, la réalité virtuelle semble être une opportunité pertinente pour l'analyse perceptive en sport [Bideau2003, Bideau2010, Capin1997, Craig2006, Watson2010].

De plus en plus de travaux se basent sur son utilisation. Notons quelques travaux comme celui de Craig et coll. [Craig2006] qui ont utilisé la réalité virtuelle pour étudier la perception des gardiens de but face aux effets de balle en football. Leur étude a permis de mettre en évidence que l'effet magnus était difficile à interpréter pour les gardiens de but de football, même experts. D'autres ont investi le champ du baseball [Ranganathan2007] ou encore du rugby [Watson2010] afin d'analyser la prise de décision de protagonistes sportifs. Enfin, pour conclure cette partie nous pensons pertinent de mentionner l'article de Bideau et coll. [Bideau2010] qui ont mis en avant à l'aide de deux expérimentations, l'une au handball (fig. 1.22) et l'autre au rugby, les avantages de la réalité virtuelle comparativement à l'utilisation de stimulus vidéo.

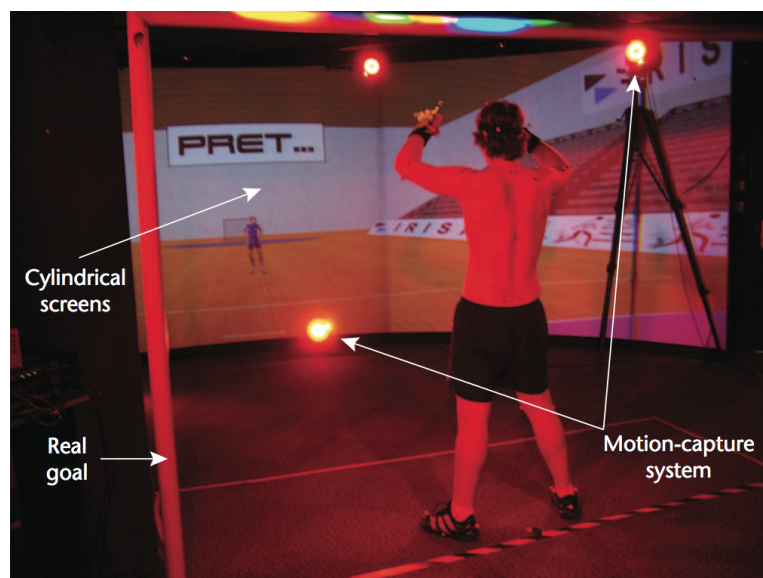


Figure 1.22 - Immersion du gardien de but de handball dans l'étude de Bideau et coll. [Bideau2010]

# Synthèse et objectifs

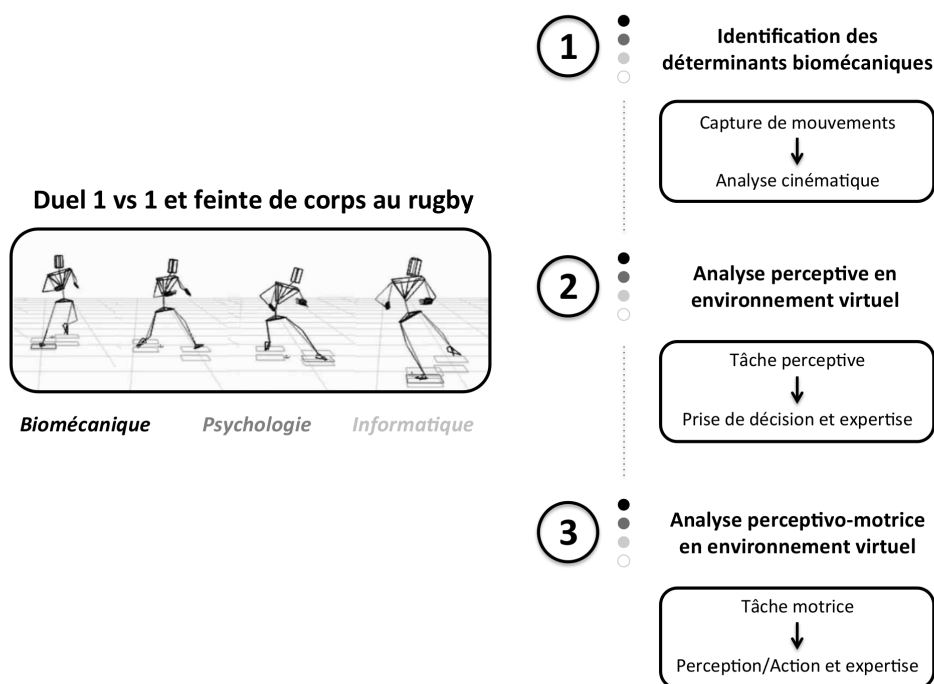


Figure 1.23 - Schéma de synthèse de notre approche

Notre revue de littérature a permis de mettre en évidence l'importance des qualités perceptives pour la performance sportive. Dans de nombreux duels sportifs et notamment dans le 1 vs. 1 en rugby, l'incertitude et la complexité de la situation nécessitent



des capacités perceptives et anticipatoires développées. En effet, pour notre duel, l'attaquant bénéficie d'une liberté d'action, permettant un degré d'incertitude élevé pour l'opposant. Il est en mesure à tout moment de sa course de faire varier son organisation cinématique et de déclencher une feinte de corps afin d'induire l'opposant en erreur. L'objectif de notre travail va être de comprendre les ressources motrices et perceptives (expertes et novices) mises en jeu lors d'un duel 1 vs. 1 en rugby et plus précisément lors d'une tentative de feinte de l'attaquant. Plus concrètement, trois questions apparaissent : Comment réaliser une feinte ? Comment la détecter ? Comment y faire face ? L'investigation de ces questionnements nécessite de mobiliser différents champs disciplinaires. Il sollicite des compétences en biomécanique, en psychologie de la perception/action et en informatique. C'est la mutualisation de ces différentes compétences qui rend possible l'exploration motrice et perceptive de la performance que nous proposons ici.

Les premières compétences mises en jeu seront celles du domaine de la biomécanique. En effet, tel que nous avons pu le mettre en évidence lors de notre état de l'art, il est indispensable que nous soyons à même de décrire précisément le mouvement de feinte de corps comparativement aux mouvements sans feinte. Cette analyse doit nous permettre de comprendre ce que peuvent être les indices cinématiques pertinents pour la détection de feinte. Ces indices, peuvent et doivent dans notre cas être mis en lien avec la prise de décision et la réponse motrice des participants. Ce couplage doit permettre d'expliquer les facteurs de l'expertise, et c'est précisément là le challenge de notre travail. Pour cela, comme nous avons pu l'observer au cours de la section 1.3.1, différentes méthodologies et différentes approches sont envisageables. Dans de nombreuses études se rapprochant d'un point de vue cognitif, la perception est envisagée comme une prérogative à l'action, exerçant un rôle passif de collecteur d'informations. Selon nous, et au regard des justifications que nous avons exposées, il est plus judicieux d'envisager la relation entre perception et action en tant que couplage et de ne pas entrevoir les deux processus comme distincts. Rappelons-le une nouvelle fois, "Nous devons percevoir pour agir, mais nous devons également agir pour percevoir" [Gibson1979].

Un objectif sera donc d'éviter les limites couramment rencontrées avec les méthodologies classiques. L'environnement visuel dans lequel interviennent les participants se doit d'être appréhendé dynamiquement et dans sa complexité. Il n'y a pas qu'une seule source d'informations, c'est un système complexe et dynamique d'informations potentielles. L'objectif étant de comprendre le degré d'importance de chacune de ces différentes informations prospectives pour telle ou telle population. Pour ces raisons, nous nous devons donc de développer des solutions procédurales et méthodologiques : i) présentant une nouvelle approche technologique permettant un contrôle plus précis des paramètres et une situation plus immersive (point de vue égocentrique, affichage stéréoscopique) ii) présentant une immersion des participants allant jusqu'à l'action, afin de mettre en lien les capacités motrices et perceptives, chose indispensable pour la compréhension de la performance globale iii) évitant les limites couramment rencontrées avec les systèmes d'enregistrement des mouvements oculaires, mais permettant néanmoins d'explorer la prise d'informations visuelles des participants iv) permettant d'explorer la prise d'informations visuelles des participants au regard d'une conception écologique.

Pour répondre à ce cahier des charges, nous investissons un outil technologique :

la réalité virtuelle. Elle a déjà été utilisée pour évaluer la perception des sportifs dans différents sports tels que le football [Craig2006] ou le handball [Bideau2003]. Sa qualité à pouvoir reproduire fidèlement une situation [Tarr2002] ainsi que le degré de présence qu'elle peut engendrer, sont selon nous, des atouts indispensables à l'étude du domaine perceptif en situation sportive et selon une approche directe de la perception. De plus, la réalité virtuelle par sa capacité à isoler des facteurs de la situation, tout en conservant la complexité de celle-ci, permet une interprétation plus fine des déterminants de la performance. Enfin, les modifications qu'elle engendre sur le comportement peuvent être observées en temps réel.

Pour résumer, ce travail a pour but d'explorer les différences de stratégies visuelles et motrices entre experts et novices durant un duel 1 vs. 1 en rugby. Plus précisément, nous proposons un cadre d'analyse utilisant une situation de rugby virtuel et présentant une méthodologie nous permettant de comprendre, écologiquement, quelles informations dynamiques de l'organisation corporelle de l'opposant semblent être utilisées « online » par les participants pour détecter et faire face aux mouvements de feinte. Nous cherchons donc à comprendre quels sont les secrets de l'expertise à détecter une intention de feinte d'un opposant. Et ceci appliqué dans un cadre précis, celui du rugby et de la feinte de corps.



## Chapitre 2

### Etude 1 : Discriminants biomécaniques de la feinte de corps en rugby

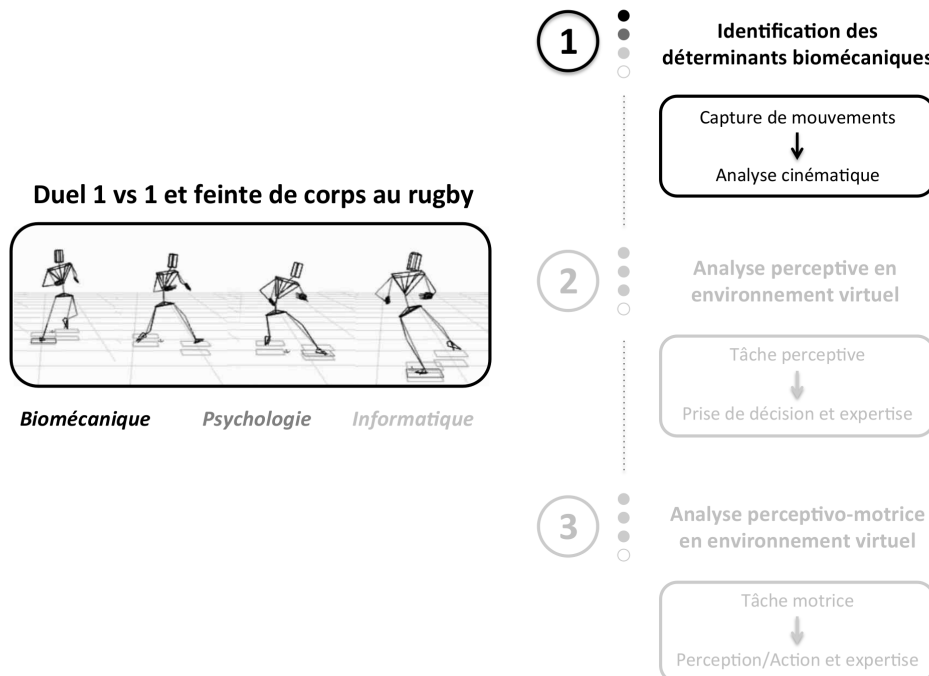


Figure 2.1 - Schéma de synthèse de notre approche : Etape 1

## 2.1 Introduction

Comme nous avons pu le constater, lors d'une tentative de feinte, il semblerait que l'attaquant doit à la fois instaurer une organisation segmentaire pour faire croire à une fausse direction tout en préparant un changement de direction imminent. Il apparaît en effet impossible qu'un attaquant ait exactement la même attitude lors d'un mouvement avec et sans feinte, dans les millisecondes précédant le changement de direction. Il doit donc y avoir des informations cinématiques qui permettraient de trahir et de différencier cette intention de feinte. Tout le challenge pour l'attaquant est alors de faire passer les informations trompeuses au premier plan, en les exagérant notamment. Le but de cette première étude est ainsi de comparer biomécaniquement les stratégies de changement de direction avec et sans mouvement de feinte lors du duel 1 vs.1. Plus précisément, nous poursuivons un double objectif, à savoir : (i) évaluer la gestion des paramètres exagérés et minimisés lors des différents types de mouvements (avec et sans feinte) (ii) évaluer les critères de réussites biomécaniques d'un mouvement de feinte. L'hypothèse que nous soutenons est que l'attaquant doit composer habilement entre ces deux logiques : i) tactique : pour induire en erreur le défenseur et faire croire à une mauvaise direction ii) biomécanique : pour conserver ses facultés à pouvoir engendrer rapidement un nouveau changement de direction qui celui-ci sera final. Toute la richesse d'une situation sportive comme celle-ci est qu'elle contraint de manière conséquente le sujet d'un point de vue spatial et temporel, l'obligeant à composer avec ce que les lois de la biomécanique lui imposent et ses propres choix tactiques. Dans une logique de performance, l'objectif final est donc de maximiser l'aspect tactique tout en essayant de se détacher de l'influence des contraintes biomécaniques. A noter, que les captures de mouvements réalisées au cours de ce premier travail seront utilisées pour répondre à cette première problématique biomécanique mais elles serviront également à animer un personnage virtuel pour la suite des travaux.

## 2.2 Méthodologie

### 2.2.1 Participants et protocole expérimental

Huit rugbymen évoluant en Fédéral 3 française (5ème division française) ont participé à cette expérimentation (21.38 ans  $\pm$  1.18). Leurs caractéristiques anthropométriques sont mentionnées dans le tableau 2.2.1. Les sujets étaient convoqués par deux pour réaliser des duels 1 vs. 1. Chacun passait dans les deux rôles : attaquant et défenseur.

Les objectifs pour chacun des deux protagonistes sont les mêmes que dans une situation de jeu classique : l'attaquant doit tenter d'éliminer le défenseur en passant sur sa droite ou sur sa gauche et le défenseur doit lui tenter de stopper l'attaquant. Le défenseur ne sait pas quel type de mouvement va être entrepris par l'attaquant, un mouvement avec feinte ("DM", en référence à l'appellation anglo-saxonne, Deceptive Movement) ou sans feinte (NDM, Non Deceptive Movement). Les deux joueurs se

trouvent à une distance de 15 mètres au départ de l'action. L'attaquant déclenche sa course quand il le souhaite. Chaque utilisateur réalisait, dans l'ordre de son choix, 20 passages : cinq passages à gauche du défenseur avec feinte à droite (DM-R) - cinq passages à droite du défenseur avec feinte à gauche (DM-L) - cinq passages à gauche (NDM-L) - cinq passages à droite (NDM-R). Les participants ont été informés du déroulement de l'expérimentation et ont signé un formulaire de consentement. Contrairement à l'étude de Jackson et coll. [Jackson2006] les mouvements que nous capturons se veulent plus réalistes car ils sont réalisés lors d'un vrai duel et non pas face à une caméra. De plus, nous conservons l'essence même de l'interaction entre le défenseur et l'attaquant ce qui n'est pas le cas dans l'étude de Jackson et coll. [Jackson2006]. Cette dernière remarque nous permet également d'évaluer le degré de crédibilité des différentes tentatives de feinte.

Sujets	Sexe	Age (ans)	Masse (kg)	Taille (m)
S1	M	21	73	1,8
S2	M	22	77	1,75
S3	M	20	71	1,73
S4	M	20	80	1,84
S5	M	21	83	1,83
S6	M	23	76	1,78
S7	M	23	84	1,83
S8	M	21	72	1,72
Moyenne		21,37	77,25	1,78
Écart type		1,18	4,94	0,04

Table 2.1 - Caractéristiques anthropométriques de la population de l'étude 1.

## 2.2.2 Capture de mouvements en environnement réel

Les captures de mouvements sont réalisées avec le système optoélectroniques Vicon MX (Oxford Metrics, Oxford, UK). 12 Caméras haute-résolution (4 megapixels), cadencées à 120hz sont disposées de manière circulaire tout autour de la scène. Chaque sujet est équipé de 43 marqueurs disposés sur des repères anatomiques tel que décrit dans le tableau 2.2.2 et la figure 2.2. Des marqueurs réfléchissants sont également positionnés sur le ballon afin de capturer sa trajectoire et d'être en mesure de l'animer

Marqueurs	Repères anatomiques
RFHD, LFHD	Os frontal côtés droit et gauche
RBHD, LBHD	Os occipital côtés droit et gauche
C7	Processus épineux de la 7ème vertèbre cervicale
T10	Processus épineux de la 10ème vertèbre thoracique
CLAV	Incisure jugulaire du sternum
STRN	Processus xyphoïde
RBAC	Marqueur dissymétrique sur la scapula droite
RSHO, LSHO	Acromion droit et gauche
RUPA, LUPA	Marqueurs dissymétriques sur le bras droit et gauche
RHUM, LHUM	Epicondyle médial huméral droit et gauche
RRAD, LRAD	Tête du radius droit et gauche
RWRA, LWRA	Processus styloïde radial droit et gauche
RWRB, LWRB	Processus styloïde ulnaire droit et gauche
RFWT, LFWT	Epine iliaque antéro-supérieure droite et gauche
RBWT, LBWT	Epine iliaque postéro-supérieure droite et gauche
RKNE, LKNE	Condyle latéral fémoral droit et gauche
RKNI, LKNI	Condyle médial tibial droit et gauche
RTHI, LTHI	Marqueurs dissymétriques sur la cuisse droite et gauche
RANE, LANE	Malléole externe droite et gauche
RANI, LANI	Malléole interne droite et gauche
RHEE, LHEE	Pternion droit et gauche
RTOE, LTOE	Acropodion droit et gauche

Table 2.2 - Repères anatomiques pour le placement des marqueurs externes.

dans la seconde étude.

Suite aux captures, nous obtenons une reconstruction 3D de chaque marqueur au cours du temps. Seulement, l'utilisation d'un système de capture de mouvement optoélectronique n'est pas sans poser de problèmes. Le principal d'entre eux est lié à l'occultation des marqueurs lors de la capture. C'est pourquoi, avant toute analyse, nous nous devons de reconstruire les marqueurs manquants et labéliser correctement ceux-ci grâce au logiciel IQ 2.5 (Oxford Metrics). Ce dernier nous permet d'éditer à terme un fichier \*.C3D pour chaque sujet (fig. 2.3) et pour chaque duel. Cette étape

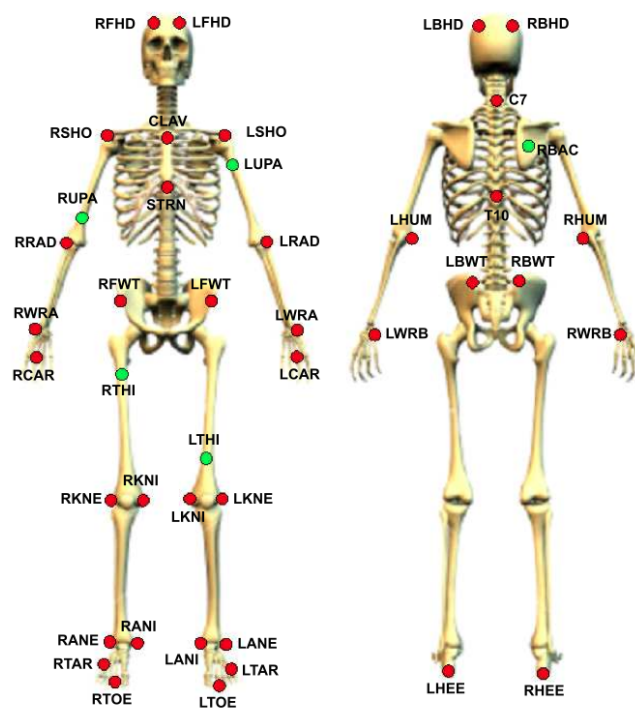


Figure 2.2 - Modèle de placement des marqueurs. Les marqueurs rouges servent à calculer le centre de masse. Les marqueurs verts sont des marqueurs "dissymétriques" permettant de différencier le côté droit et le côté gauche du sujet

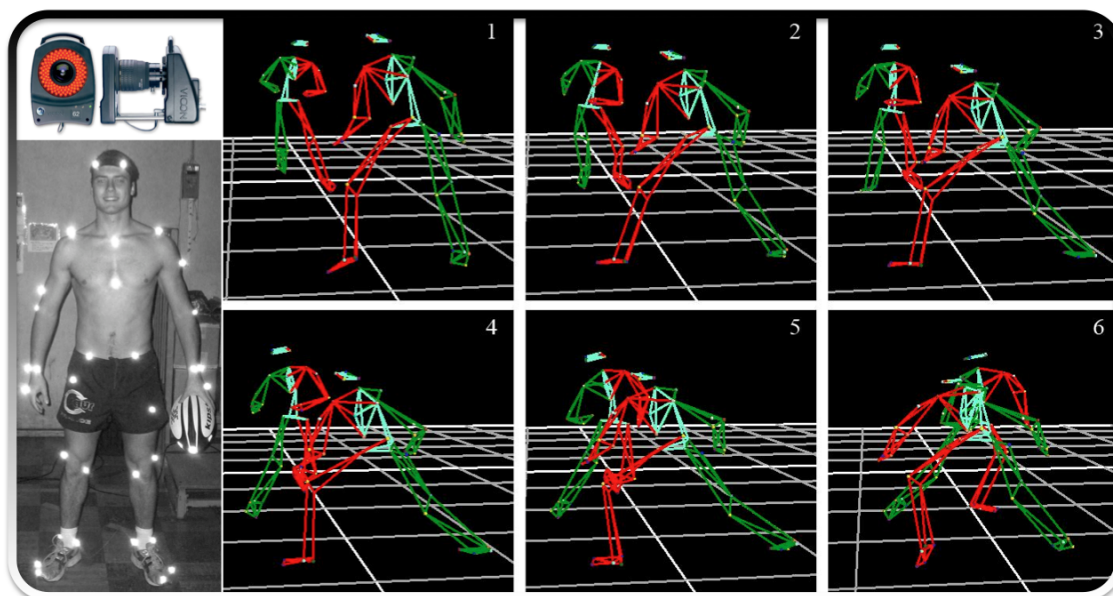


Figure 2.3 - Capture de mouvement : Caméra Vicon MX, Sujet équipé de marqueurs, reconstruction du duel 1 vs. 1

accomplie, nous sommes en mesure de débiter l'analyse biomécanique.



### 2.2.3 Sélection et catégorisation des mouvements de feinte

De manière à sélectionner objectivement les mouvements présentant ou non une tentative de feinte nous nous inspirerons de la définition même de la feinte de corps. Cette dernière est une stratégie motrice qui vise à donner des informations trompeuses à l'opposant. Un critère de crédibilité et d'efficacité de celle-ci réside donc dans la réponse directe de ce dernier. En d'autres termes, si durant l'exécution d'un DM le défenseur initie un déplacement suffisant dans la fausse direction alors nous pouvons considérer ce DM comme performant. Pour différencier les DM performants (DM+) des DM non performants (DM-) nous avons calculé le déplacement médio-latéral du défenseur par rapport à l'axe transverse (cet axe est déterminé à partir du déplacement de l'attaquant, plus de détails dans la section 2.2.5). Lorsque ce dernier était supérieur à 5cm le DM était considéré comme efficace et classé donc dans la catégorie DM+. Cette valeur est en accord avec les travaux de Raymakers et coll. [Raymakers2005] qui ont montré que lors d'une tâche statique sur plate forme de force le centre de pression (CP) de sujets jeunes ne se déplaçait que de 2,3cm. Ainsi comme le CP n'est déplacé que de 2,3cm lorsqu'aucune direction n'est initiée, nous choisissons un seuil deux fois plus grand que celui-ci (5cm dans le plan médio-latéral) pour être sûr que le sujet soit dans une configuration de déplacement active. Par conséquent, les DM impliquant un déplacement du COM dans le plan médio-latéral inférieur à 5cm ont été classés dans la catégorie DM- et ceux impliquant un déplacement supérieur à 5cm ont été classés dans la catégorie DM+. Sur l'ensemble des 8 participants testés l'un d'entre eux n'a pas été en mesure de réaliser de DM+ (probablement car son profil est celui d'un avant, numéro 4 ou 5). Par ailleurs, deux autres mouvements n'ont pas pu être utilisés car ils ont été réalisés en dehors de la zone de capture. Au total, nous comptons 138 mouvements, comprenant 70 NDM, 35 DM+ and 33 DM-. L'ensemble de ces mouvements ont ensuite été analysés tel que défini dans la section 2.2.5.

### 2.2.4 Détermination de l'intervalle d'étude

Les mouvements sont classés en deux catégories : i) ceux avec simples changement de direction sur la droite (NDM-R) ou sur la gauche (NDM-L) ii) et ceux présentant d'abord un mouvement de feinte sur la droite avant d'imprimer une direction finale sur la gauche (DM-R) ou sur la gauche avant d'imprimer une direction finale sur la droite (DM-L). L'intervalle d'étude s'étale sur un cycle complet (fig. 2.4) et débute à la pose de pied précédent la première réorientation (LFC1 : Left Foot Contact 1 pour DM-R et NDM-R; RFC1 : Right Foot Contact 1 pour DM-L et NDM-L). LFC2 et RFC2 étant respectivement les Left Foot Contact 2 et Right Foot Contact 2 du cycle. LFC1 (ou RFC1) est déterminé à partir des données cinématiques des marqueurs du pied. Le contact est considéré comme effectif lorsque la vitesse verticale du marqueur du talon ou de l'acropodion (LHEE/RHEE ou LTOE/RTOE, tab. 2.2.2, fig. 2.2) est égale à 0 et que la position est constante. Sur toutes les courbes, LFC1 et RFC1 sont repositionnés à 25% du temps total, de manière à visualiser la tendance avant la première empreinte. Toutes les courbes sont ainsi normalisées par l'intermédiaire d'une spline cubic de 0 à

100% entre cet intervalle de temps avant LFC1-RFC1 et les contact LFC2-RFC2. A noter que pour les NDM-L et DM-L le pied gauche est considéré comme le pied extérieur (OutFoot : OF) et le pied droit comme le pied intérieur (InFoot :IF) et inversement pour NDM-R et DM-R.

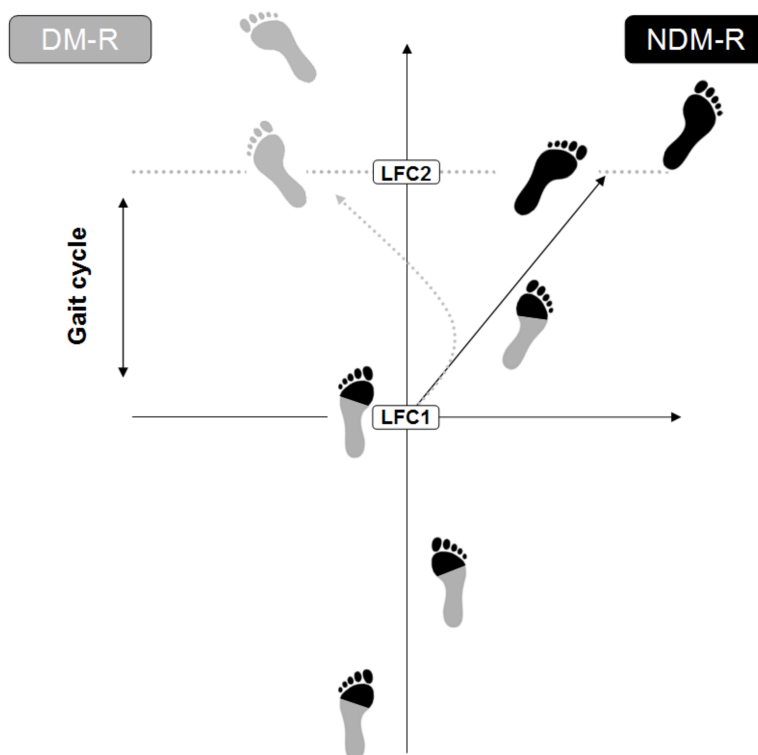


Figure 2.4 - Représentation schématisée des différents appuis au cours de DM-R et de NDM-R. L'intervalle d'étude est ainsi déterminé par le cycle de course entre LFC1 et LFC2 (Left foot contact 1 et 2).

## 2.2.5 Analyse cinématique

En accord avec la nomenclature usuelle des différents axes de références du corps humain (fig. 2.5), l'ensemble des paramètres cinématiques suivant sont analysés chez l'attaquant (fig. 2.6) :

- la rotation de la tête dans l'axe longitudinal (mouvement de lacet de la tête)
- la rotation des épaules dans l'axe sagittal (mouvement de roulis de la ligne des épaules)
- la rotation des épaules dans l'axe longitudinal (mouvement de lacet de la ligne des épaules)
- la rotation du bassin dans l'axe longitudinal (mouvement de lacet de la ligne du bassin)

- le déplacement médio-latéral du centre de masse selon l'axe du duel (déplacement M/L CM )
- le déplacement médio-latéral du pied extérieur selon l'axe du duel (déplacement M/L OF)

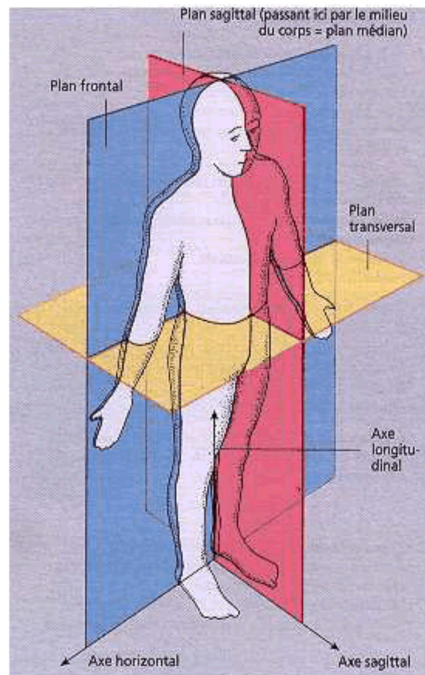


Figure 2.5 - Plans et axes de références du corps humain

Notons, que le déplacement M/L CM est obtenu avec la table anthropométrique de Zatsiorsky et coll. [Zatsiorsky1990]. Ce dernier est également calculé pour le défenseur car il est utilisé comme critère de réussite pour les mouvements de feinte de l'attaquant. La totalité des paramètres cinématiques sont calculés dans un repère 3D ( $F_s$ ) propre à chaque mouvement. L'origine de ce repère fait référence au projeté orthogonale du CM sur le sol au moment de l'évènement LFC1 (ou RFC1). L'axe Z est vertical, l'axe Y est en ligne avec la direction du cycle de course précédent LFC1 (ou RFC1) et l'axe X est perpendiculaire aux deux autres. Concernant l'axe Y, la direction du cycle précédent LFC1 (ou RFC1) est obtenue par régression linéaire de la trajectoire du CM dans le plan XY du repère du monde (F). Les coordonnées 3D ainsi obtenues dans le repère F sont ensuite réorientées afin d'obtenir les nouvelles coordonnées dans le repère  $F_s$  spécifique au mouvement. Au regard des profils cinématiques globaux de tous ces paramètres, il est une distinction claire et évidente à apporter entre DM et NDM. En effet, bien que nous observons une première orientation (R1) très rapidement après LFC1 (ou RFC1) pour les deux types de mouvements (DM et NDM), nous n'observons une seconde orientation (qui peut être qualifiée de réorientation) que pour les DM (R2-DM). Ces réorientations (R1 et R2-DM) sont considérées comme effectives lorsque la dérivée de la valeur cinématique change de signe et témoigne une pente de 10%. Ce seuil nous permet de déterminer les orientations effectives et franches initiées dans une direction sans prendre en compte les simples oscillations. Ainsi, l'ensemble des évènements (orien-

tations, réorientations) sont relatifs à chaque mouvement et chaque paramètre analysé. Les valeurs R1 et R2-DM sont donc différentes pour chaque paramètre et chaque mouvement. Notons, que pour le déplacement M/L OF, lorsque le pied est en contact avec le sol, le seul paramètre pouvant être réorienté est le pied intérieur (IF). Ceci explique pourquoi R2-DM est calculé à partir du déplacement M/L IF. Ces réorientations sont à la base de notre comparaison entre les DM et NDM. Premièrement, elles nous informent sur le moment d'initiation de la première orientation pour chaque paramètre et pour chaque type de mouvement. Deuxièmement, elles nous permettent de standardiser l'intervalle d'étude selon des critères logiques et pertinents au regard de l'essence du mouvement.

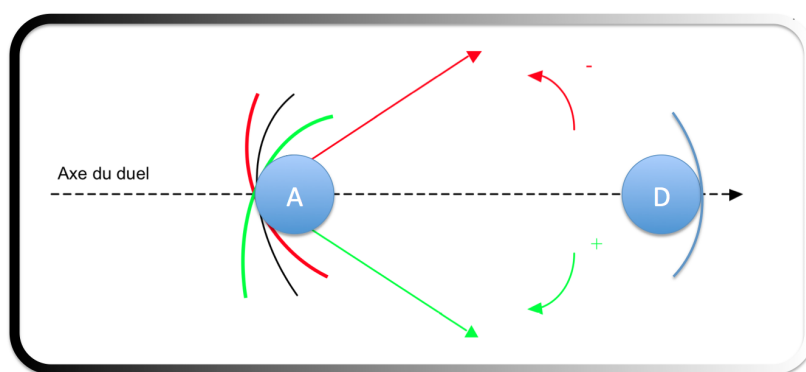


Figure 2.6 - Schématisation du calcul du mouvement de lacet de la tête, des épaules et du bassin

## 2.2.6 Analyse statistique

Pour toutes les trajectoires nous calculons le coefficient de corrélation (Pearson correlation coefficient  $r$ ,  $p < 0.001$ ) entre les mouvements DM et NDM sur l'intervalle entre LFC1 (ou RFC1) et le début de la seconde réorientation lors du DM (R2-DM). Malgré un début de réorientation des paramètres probablement amorcé légèrement avant cet évènement cinématique (LFC1-RFC1), il est tout de même indispensable que nous déterminions un évènement commun pour tous les mouvements pour effectuer les comparaisons. Quand cette corrélation est supérieure à 90% nous comparons les distances moyennes entre les deux courbes (décalage sur l'axe des ordonnées) sur le même intervalle (entre LFC1 ou RFC1 et R2-DM) à l'aide d'un Paired T-Test ( $p < 0.001$ ) sur chaque couple de valeurs NDM-DM. Pour les quelques situations où la normalité ne s'avère pas concluante, nous complétons par un Wilcoxon Signed Rank Test (signalé dans le tableau 2.8 par Wrt). De plus, afin d'examiner l'effet du type de mouvement (DM+, DM-, NDM) sur les différents paramètres biomécaniques, les délais temporels observés entre les différentes réorientations et LFC1 (ou RFC1) ont été soumis à une analyse de variance à une voie (ANOVA). Des tests complémentaires de Tuckey (Tukey's HSD post hoc tests,  $p < .05$ ) ont également été réalisés afin d'explorer les différences

entre groupes. Enfin, en ce qui concerne les deux types de mouvement DM (DM+ et DM-) nous avons utilisé un T-Test de student ( $p < .05$ ) pour déterminer s'il y avait une différence significative qu'en à la seconde réorientation (R2-DM).

## 2.3 Résultats

### 2.3.1 DM vs. NDM

#### 2.3.1.1 Profils cinématiques et distances moyennes

Ce premier bloc de résultats se base sur une analyse de corrélations ayant pour objectif de comparer les profils cinématiques et cinétiques au cours de la première orientation (DM vs NDM) initiée par l'attaquant. Cette étape préliminaire est essentielle pour savoir si les deux types de mouvements présentent des différences majeures d'un point de vue cinématique. Par exemple, une corrélation élevée entre un paramètre lors d'un DM et lors d'un NDM indiquerait que celui-ci ne représente pas un indice potentiel à lui seul pour différencier une tentative de feinte d'un mouvement simple sans réorientation. Au contraire, une faible corrélation mettrait en avant le fait qu'un tel paramètre peut être un indice déterminant pour différencier une stratégie de mouvement d'une autre. Les résultats montrent que sur l'intervalle entre LFC1 (ou RFC1) et R2-DM, l'ensemble des paramètres cinématiques (excepté pour le mouvement de lacet et de roulis de la ligne des épaules dans la comparaison entre DM-L- et NDM-L) présentent des corrélations plus que conséquentes sur les deux côtés (droit et gauche) et supérieures à 0.94 ( $p < .001$ ) (ref. 2.8). Notons qu'en ce qui concerne le mouvement de roulis de la ligne des épaules, la corrélation entre DM-L- et NDM-L est de 0.852, ce qui peut néanmoins être considéré comme significatif et globalement en accord avec le reste des résultats. Un résultat intéressant concerne le déplacement M/L CM, qui présente une corrélation importante (par exemple,  $r(36) = .985$  pour DM-R+/NDM-R et  $r(32) = .980$  pour DM-L+/NDM-L,  $p < .001$ ) alors que les courbes pour les DM et NDM se séparent très tôt (fig. 2.7). A l'opposé, le mouvement de lacet de la ligne des épaules ne présente pas de profil cinématique reconnaissable entre DM et NDM ( $r(11) = .998$  pour DM-R+/NDM-R et  $r(14) = .836$  pour DM-L+/NDM-L). En effet, il semble que le mouvement de lacet de la ligne des épaules présente de légères variations irrégulières et oscillantes sans témoigner d'une initiation d'orientation évidente. Pour cette raison nous avons décidé de ne pas inclure le délai de réorientation (ou simplement son ordre d'apparition chronologique) lors de la discussion concernant les stratégies de réorientation. Par ailleurs, nos résultats montrent des différences significatives en ce qui concerne les distances moyennes des courbes entre certains paramètres cinématiques (DMs vs. NDMs) sur le même intervalle d'étude (25% – R2-DM) (ref. 2.8). Lorsque l'on compare DMs+ avec NDMs et DMs- avec NDMs on constate que deux paramètres cinématiques sont minimisés, à savoir, le déplacement M/L CM (DM-R+ vs. NDM-R distance moyenne =  $10.643 \pm 9.037$ ;  $t(70) = 7.066$ ,  $p < .001$ ; DM-R- vs. NDM-R distance moyenne =  $11.760 \pm 9.717$ ;  $t(70) =$

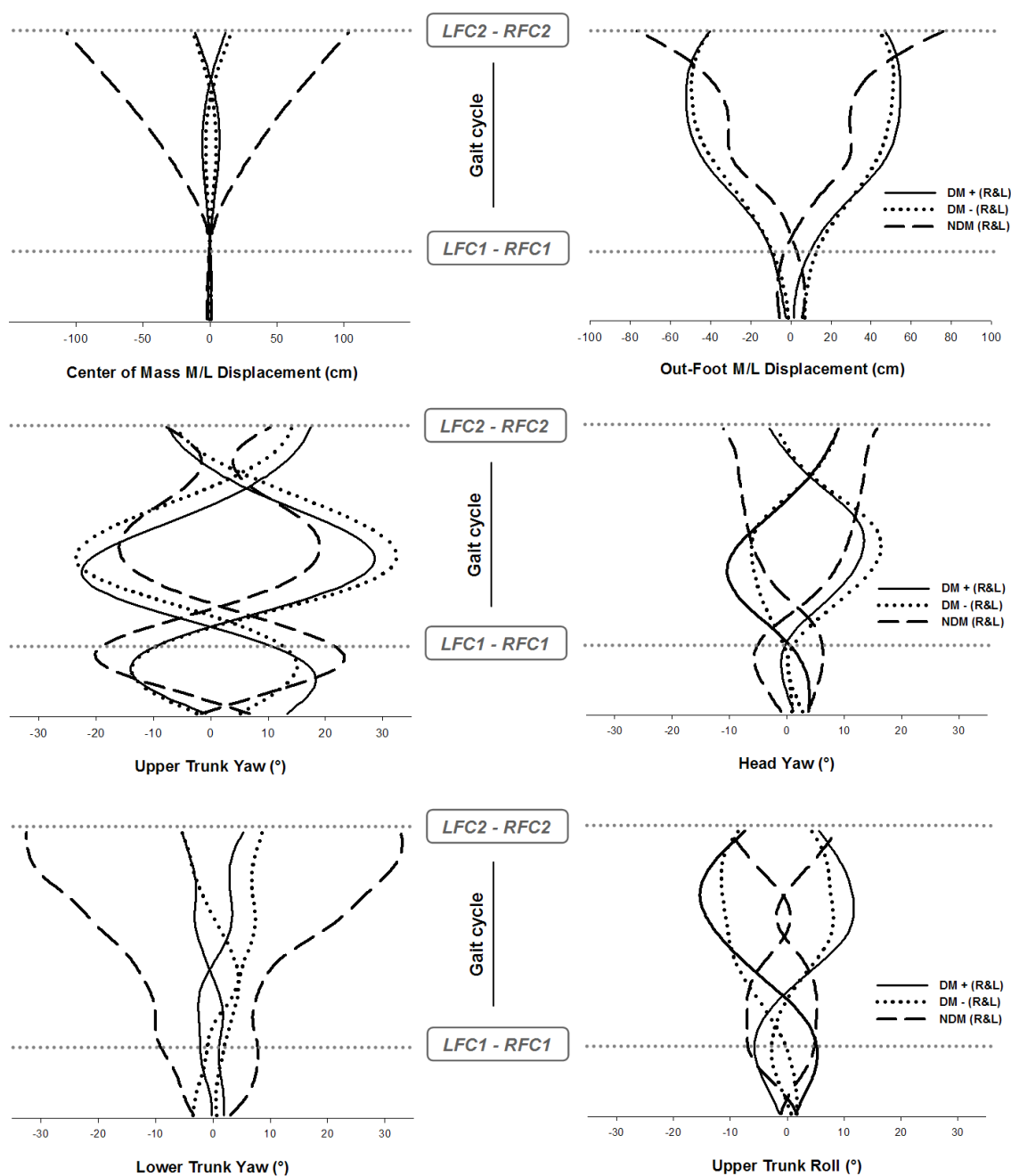


Figure 2.7 - Courbes normalisées sur l'intervalle d'étude entre LFC1 et LFC2 (ou entre RFC1 et RFC2) des différents paramètres étudiés : déplacement M/L CM en cm (Center of Mass M/L displacement) ; déplacement M/L OF en cm (Out-Foot M/L displacement) ; mouvement de lacet des épaules, de la tête et du bassin en degrés (respectivement, Upper Trunk Yaw, Head Yaw et Lower Trunk Yaw) ; et le mouvement de roulis des épaules en degrés (Upper Trunk Roll). Sur chaque graphique sont représenté le profil de courbe moyen obtenu pour mes différents types de mouvement : DM+, DM- et NDM

7.261,  $p < .001$  ; résultats similaires pour DM-L et NDM-L) et le mouvement de lacet de la ligne des épaules (DM-R+ vs. NDM-R distance moyenne =  $5.76 \pm 0.467$  ;  $t(20) = 38.441$ ,  $p < .001$  ; DM-R- vs. NDM-R distance moyenne =  $4.47 \pm 0.728$  ;  $t(70) = 20.363$ ,  $p < .001$  ; résultats similaires pour DM-L et NDM-L). L'ensemble des autres paramètres cinématiques se trouve augmentés durant R1 (fig. 2.8).

### 2.3.1.2 Délais et stratégies de réorientations : R1 et R2-DM

Comme indiqué par le signe "-" dans les figures 2.10 et 2.11, l'ensemble des réorientations R1, pour les différents paramètres cinématiques, sont initiés avant LFC1 et RFC1 (excepté pour le mouvement de roulis des épaules lors des NDM et pour le déplacement M/L CM lors des DM). L'analyse de variance met en avant des différences significatives entre DM+, DM-, et NDM en ce qui concerne le déplacement M/L CM ( $F(2, 137) = 7.893$ ,  $p < .001$ ) et le mouvement de lacet de la ligne des épaules ( $F(2, 137) = 6.543$ ,  $p < .01$ ). Les tests post-hoc de tuckey (HSD) ont révélé que le mouvement de lacet des épaules était initié (R1) significativement plus tôt durant les DM+ que durant les NDM ( $p < .001$ ) et que le déplacement M/L CM était lui réorienté significativement plus tôt pour les NDM que pour les DM+ ( $p < .05$ ) et les DM- ( $p < .001$ ). De plus, nous avons observé une stratégie de réorientation quasi-dupliquée durant la première orientation entre les DM+ et NDM (fig. 2.9). Seulement le CM diffère en étant réorienté plus tôt pour les NDM comparativement aux DM+. Excepté ce dernier, si l'on s'intéresse à l'ordre chronologique d'apparition des réorientations, on constate l'enchaînement suivant : déplacement M/L OF ; mouvement de lacet des épaules/mouvement de lacet de la tête (quasi similaires) et en dernier le mouvement de roulis des épaules. En ce qui concerne les DM- deux différences peuvent être mises en avant : la réorientation plus tardive du CM après LFC1 (ou RFC1) et la non significative, mais néanmoins évidente, plus précoce orientation du mouvement de roulis de la ligne des épaules comparativement aux NDM.

## 2.3.2 DM+ vs. DM-

### 2.3.2.1 Profils cinématiques et distances moyennes

Pour l'ensemble des comparaisons entre DM et NDM (excepté pour le mouvement de lacet de la ligne des épaules,  $r(11) = .978$  pour DM-R+/DM-R- et  $r(14) = .978$  pour DM-L+/DM-L-) tous les paramètres analysés présentent un coefficient de corrélation élevé d'un coté comme de l'autre (fig. 2.8). Les distances moyennes entre les

	DM-R' /NDM-R	DM-R' /NDM-R	DM-R' /NDM-R	DM-R' /NDM-R	DM-L' /NDM-L	DM-L' /NDM-L	DM-L' /DM-L
	Correlation (LFC1 (or RFC1) /R2-DM) (Pearson correlation)						
COM M/L displacement (cm)	r(36) = .985, p < .001	r(36) = .983, p < .001	r(36) = 1, p < .001	r(35) = .980, p < .001	r(35) = .970, p < .001	r(35) = .999, p < .001	r(35) = .999, p < .001
Head yaw (°)	r(34) = .999, p < .001	r(34) = .999, p < .001	r(34) = 1, p < .001	r(26) = .976, p < .001	r(26) = .984, p < .001	r(26) = .998, p < .001	r(26) = .998, p < .001
Upper trunk Yaw (°)	r(30) = 1, p < .001	r(30) = 1, p < .001	r(30) = 1, p < .001	r(25) = .994, p < .001	r(25) = .998, p < .001	r(25) = .987, p < .001	r(25) = .987, p < .001
Upper trunk roll (°)	r(44) = .942, p < .001	r(44) = .943, p < .001	r(44) = 1, p < .001	r(52) = .939, p < .001	r(52) = .852, p < .001	r(52) = .978, p < .001	r(52) = .978, p < .001
OF M/L displacement (cm)	r(54) = .993, p < .001	r(54) = .990, p < .001	r(54) = .999, p < .001	r(52) = .993, p < .001	r(52) = .986, p < .001	r(52) = .998, p < .001	r(52) = .998, p < .001
Lower trunk yaw (°)	r(11) = -.998, p < .001	r(11) = -.964, p < .001	r(11) = .978, p < .001	r(14) = .836, p < .001	r(14) = -.782, p < .001	r(14) = -.978, p < .001	r(14) = -.978, p < .001
	Mean distance $\pm$ SD (LFC1 (or RFC1) /R2-DM) (paired t-test)						
COM M/L displacement (cm)	-10.643 $\pm$ 9.037	-11.760 $\pm$ 9.717	1.117 $\pm$ 0.694	10.818 $\pm$ 9.264	11.986 $\pm$ 10.037	-1.168 $\pm$ 0.784	-1.168 $\pm$ 0.784
	t(70) = -7.066, p < .001	t(70) = -7.261, p < .001	t(70) = 9.657, p < .001	t(68) = 6.909, p < .001	t(68) = 7.065, p < .001	t(68) = -8.811, p < .001	t(68) = -8.811, p < .001
Head Yaw (°)	3.584 $\pm$ 0.515	6.052 $\pm$ 0.265	-2.467 $\pm$ 0.548	-7.649 $\pm$ 0.757	-4.871 $\pm$ 1.955	-2.777 $\pm$ 1.857	-2.777 $\pm$ 1.857
	p < .001 (Wrt)	t(66) = 133.325, p < .001	t(66) = -26.243, p < .001	t(50) = -51.494, p < .001	t(50) = -12.704, p < .001	t(50) = -7.625, p < .001	t(50) = -7.625, p < .001
Upper Trunk Yaw (°)	10.612 $\pm$ 0.327	12.573 $\pm$ 1.395	-1.962 $\pm$ 1.223	-12.684 $\pm$ 1.229	-7.771 $\pm$ 0.604	-4.913 $\pm$ 1.795	-4.913 $\pm$ 1.795
	t(58) = 177.579, p < .001	t(58) = 49.381, p < .001	t(58) = -8.782, p < .001	t(48) = -51.609, p < .001	t(48) = -64.346, p < .001	t(48) = -13.689, p < .001	t(48) = -13.689, p < .001
Upper Trunk Roll (°)	7.174 $\pm$ 3.527	7.210 $\pm$ 1.533	-0.0360 $\pm$ 2.179	-8.092 $\pm$ 4.513	-9.774 $\pm$ 1.847	1.683 $\pm$ 3.701	1.683 $\pm$ 3.701
	p < .001 (Wrt)	p < .001 (Wrt)	t(58) = 177.579, p = .913	p < .001 (Wrt)	t(102) = -38.163, p < .001	p < .001 (Wrt)	p < .001 (Wrt)
OF M/L displacement (cm)	18.631 $\pm$ 3.782	16.819 $\pm$ 1.810	1.812 $\pm$ 2.904	-16.568 $\pm$ 2.217	-13.707 $\pm$ 2.166	-2.861 $\pm$ 1.461	-2.861 $\pm$ 1.461
	t(106) = 36.202, p < .001	p < .001 (Wrt)	p < .001 (Wrt)	p < .001 (Wrt)	t(102) = -45.628, p < .001	p < .001 (Wrt)	p < .001 (Wrt)
Lower Trunk Yaw (°)	-5.76 $\pm$ 0.467	-4.47 $\pm$ 0.728	-1.290 $\pm$ 0.246	7.477 $\pm$ 0.115	10.184 $\pm$ 1.192	-2.707 $\pm$ 1.147	-2.707 $\pm$ 1.147
	t(20) = -38.441, p < .001	t(20) = -20.363, p < .001	t(20) = -17.387, p < .001	p < .001 (Wrt)	t(26) = 31.978, p < .001	t(20) = 1.147, p < .001	t(20) = 1.147, p < .001

Figure 2.8 - Coefficients de corrélation (corrélation de Pearson,  $p < .001$ ) et distances moyennes (paired t-test,  $p < .001$ ) entre DM+, DM- et NDM (R et L) sur l'intervalle d'étude LFC1/R2-DM et pour les paramètres suivants : déplacement M/L CM en cm (COM M/L displacement); déplacement M/L OF en cm (OF M/L displacement); mouvement de lacet des épaules, de la tête et du bassin en degrés (respectivement, Upper Trunk Yaw, Head Yaw et Lower Trunk Yaw); et le mouvement de roulis des épaules en degrés (Upper Trunk Roll)



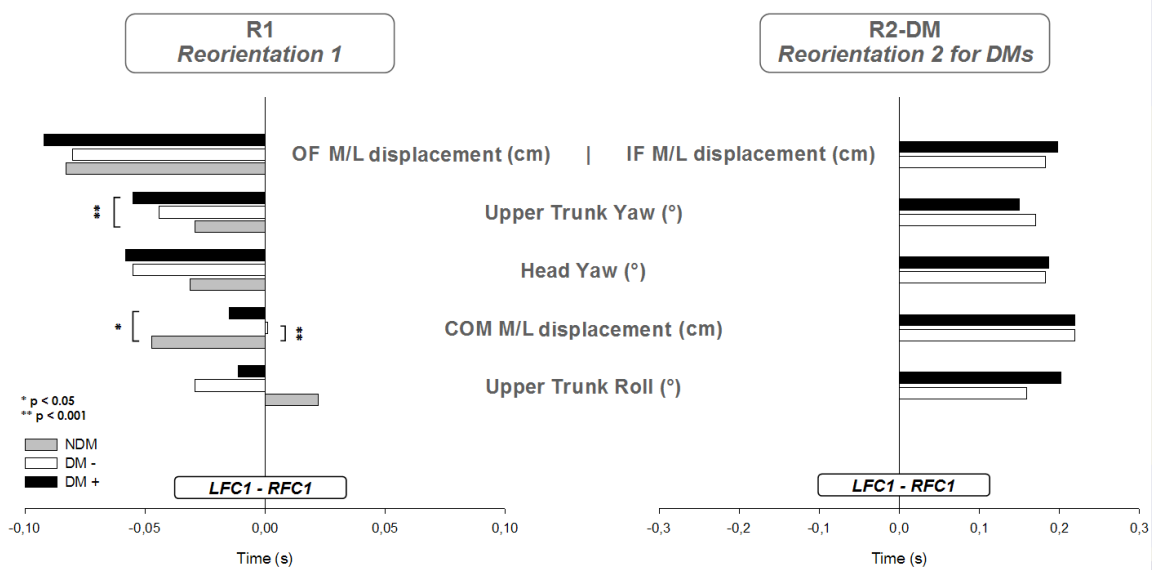


Figure 2.9 - Instants de déclenchements des réorientations 1 et 2 (R1 et R2-DM) avant ou après LFC1 (ou RFC1) en secondes (s) pour les paramètres suivants : déplacement M/L CM en cm (COM M/L déplacement) ; déplacement M/L OF et IF en cm (OF et IF M/L déplacement) ; mouvement de lacet des épaules et de la tête en degrés (respectivement, Upper Trunk Yaw et Head Yaw) ; et le mouvement de roulis des épaules en degrés (Upper Trunk Roll).

courbes des DM+ et DM- sont significatives pour tous les paramètres cinématiques (excepté pour le mouvement de roulis de la ligne des épaules). Néanmoins, les seuls paramètres apparaissant homogènes (toujours exagérés ou minimisés) des deux côtés sont le déplacement M/L CM et le déplacement M/L OF. Ce sont les deux seuls à être systématiquement minimisés durant les DM- comparativement aux DM+ (ref. 2.8). Pour le reste des paramètres, il n'y a pas de profil spécifique observable, et cela du à l'inégalité observée des deux côtés (exagéré pour un côté et minimisé de l'autre).

### 2.3.2.2 Délais et stratégies de réorientations : R1 et R2-DM

Comme nous pouvons l'observer dans le tableau 2.10 et 2.11, il n'y a pas de différence significative entre les délais de réorientations pour les DM+ et DM-. Néanmoins, les données mettent en avant le fait que pour l'ensemble des paramètres (excepté pour le mouvement de roulis de la ligne des épaules) la réorientation s'opère plus tard pour les DM- par rapport aux DM+. Bien que la majorité des différents paramètres cinématiques soient initiés avant LFC1 et RFC2, il est indispensable de noter que ce n'est pas le cas pour le déplacement M/L CM durant les DM-, qui est orienté après LFC1 (ou RFC1). Concernant R2-DM, qui n'est présent que lors des DM, il n'y a pas de différences

	DM <sup>+</sup>	DM <sup>-</sup>	NDM	DM <sup>+</sup> /DM <sup>-</sup>	DM <sup>+</sup> /NDM	DM <sup>-</sup> /NDM
<i>Mean delay ± SD (R1) (one-way ANOVA)</i>						
COM M/L displacement (cm)	-0.015 ± 0.052	0.001 ± 0.054 <i>F</i> (2, 137) = 7.893, <i>p</i> < .001	-0.047 ± 0.068	Diff. of means = 0.0157 <i>p</i> = .536	Diff. of means = 0.0323 <i>p</i> < .05	Diff. of means = 0.048 <i>p</i> < .001
Head yaw (°)	-0.058 ± 0.048	-0.055 ± 0.058 <i>F</i> (2, 137) = 2.33, <i>p</i> = .101	-0.031 ± 0.081	-	-	-
Upper trunk yaw (°)	-0.055 ± 0.036	-0.044 ± 0.031 <i>F</i> (2, 137) = 6.543, <i>p</i> < .01	-0.029 ± 0.037	Diff. of means = 0.0114 <i>p</i> = .371	Diff. of means = 0.0256 <i>p</i> < .001	Diff. of means = 0.0142 <i>p</i> = .371
Upper trunk roll (°)	-0.011 ± 0.072	-0.029 ± 0.08 <i>F</i> (2, 137) = 2.514, <i>p</i> = .085	0.022 ± 0.144	-	-	-
OF M/L displacement (cm)	-0.092 ± 0.053	-0.08 ± 0.053 <i>F</i> (2, 137) = 0.254, <i>p</i> = .776	-0.083 ± 0.087	-	-	-

Figure 2.10 - Délais moyens de réorientation à R1 (t-test de Student, *p* < 0.05) entre DM+, DM- et NDM pour les paramètres suivants : déplacement M/L CM en cm (COM M/L displacement) ; déplacement M/L OF en cm (OF M/L displacement) ; mouvement de lacet des épaules et de la tête en degrés (respectivement, Upper Trunk Yaw et Head Yaw) ; et le mouvement de roulis des épaules en degrés (Upper Trunk Roll).

significatives notables. Par conséquent, nous comprenons qu'il y a une stratégie de réorientation quasi similaire entre DM+ et DM- (fig. 2.9). La seule différence concerne le

	DM <sup>+</sup> (R and L)	DM <sup>-</sup> (R and L)
<i>Mean delay ± SD (R2-DM) (Student t-test)</i>		
COM M/L displacement (cm)	0.219 ± 0.081 $t(132) = 0.013, p = .990$	0.219 ± 0.116
Head yaw (°)	0.187 ± 0.072 $t(132) = 0.212, p = .833$	0.183 ± 0.088
Upper trunk yaw (°)	0.15 ± 0.058 $t(132) = -1.34, p = .185$	0.17 ± 0.068
Upper trunk roll (°)	0.202 ± 0.121 $t(132) = 1.458, p = .149$	0.159 ± 0.121
OF M/L displacement (cm)	0.198 ± 0.149 $t(132) = 0.421, p = .675$	0.183 ± 0.15

Figure 2.11 - Délais moyens de réorientation à R2-DM (t-test de Student,  $p < 0.05$ ) entre DM<sup>+</sup>, DM<sup>-</sup> pour les paramètres suivants : déplacement M/L CM en cm (COM M/L displacement) ; déplacement M/L OF en cm (OF M/L displacement) ; mouvement de lacet des épaules et de la tête en degrés (respectivement, Upper Trunk Yaw et Head Yaw) ; et le mouvement de roulis des épaules en degrés (Upper Trunk Roll).

mouvement de roulis de la ligne des épaules qui est le dernier paramètre à être réorienté durant les DM<sup>+</sup> et l'avant dernier durant les DM<sup>-</sup>. Signalons que pour les DM<sup>+</sup>, l'ordre d'apparition du R2-DM pour le déplacement M/L IF change comparativement à l'ordre d'apparition lors de R1. La ligne des épaules (mouvement de lacet) est également très clairement réorientée plus tôt que la tête (mouvement de lacet). Enfin, durant R2-DM, aucune différence significative n'apparaît en ce qui concerne les instants de réorientation des différents paramètres cinématiques entre DM<sup>+</sup> et DM<sup>-</sup>.

## 2.4 Discussion

Les très significatives corrélations observées entre DM et NDM lors de R1 mettent en avant le fait qu'il y aurait un profil cinématique commun pour les paramètres étudiés (hormis le mouvement de lacet du bassin) durant cette phase. Néanmoins, comme nous avons pu le remarquer, un paramètre reste particulier, le mouvement de lacet du bassin. Ce dernier est globalement relatif aux mouvements du pelvis et ne présente pas ici de profil reconnaissable. Slocum et Bowerman [Slocum1962] ont été les premiers auteurs à mettre l'accent sur la fonction biomécanique des lombaires et du pelvis durant la course en montrant qu'ils étaient la clef du contrôle postural. Ils représentent donc une contrainte biomécanique indispensable pour une posture stabilisée et l'élaboration d'une posture finale orientée dans une direction particulière. Or ici, lors d'un DM la posture finale se veut orientée dans une direction opposée à la première réorientation. Autrement dit, il est nécessaire pour pouvoir suivre la direction finale voulue, de conserver cette stabilité dans l'axe. Si en effet le pelvis se voyait trop orienté durant la première réorientation, il serait très probablement difficile de contrebalancer efficacement le corps entier dans la direction finale.

Les résultats de la différence moyenne entre les deux courbes viennent supporter notre hypothèse de départ. En effet, la stratégie de changement de direction lors du mouvement de feinte semble effectivement devoir composer entre deux logiques : i) tactique : pour induire en erreur le défenseur et faire croire à une mauvaise direction ii) biomécanique : pour conserver ses facultés à pouvoir engendrer rapidement un nouveau changement de direction. La minimisation du déplacement M/L CM et du mouvement de lacet du bassin, témoigne d'une logique biomécanique. Il est une nécessité de respecter ces lois de stabilisation et de control postural pour permettre la direction finale voulue. Par ailleurs, autour de ces contraintes majeures de stabilité, s'organise l'action très significative des membres et du tronc, qui remplissent une logique tactique visant à indiquer une fausse direction finale au défenseur. L'action la plus marquante semble être celle des épaules, visant à donner une impression générale à tout le haut du corps. En effet, comme nous l'avons vu celui-ci représente une masse importante du corps global, et par la même est censé jouer un rôle primordial dans la réorientation du CM. Toute l'intelligence du joueur réside dans sa capacité à savoir ce que représente un mouvement crédible de changement de direction et donc les informations qu'il faut donner au défenseur pour faire croire à une mauvaise direction du CM. L'objectif est alors de proposer une organisation segmentaire visant à augmenter ces informations visuelles censées être pertinentes pour le défenseur tout en limitant les facteurs clés de sa direction finale (CM).

L'amorce de réorientation plus précoce pour les DM doit permettre à l'attaquant de faire croire au défenseur à une fausse direction et donc de gagner du temps en le faisant partir dans cette mauvaise direction. C'est la logique tactique qui transparait ici, initier très tôt un faux départ du défenseur pour bénéficier de suffisamment de temps ensuite pour sa propre redirection. Abstraction faite du CM et du mouvement de lacet du bassin, définit comme contraintes biomécaniques lors des DM, nous constatons des stratégies de réorientation identiques lors de R1 pour les DM et NDM, bien que plus tardive pour les NDM. La stratégie utilisée n'est pas une stratégie top-down où la tête initierait la réorientation. Ceci car nous ne sommes pas en présence d'un mouvement de marche, mais bien de course. L'hypothèse d'une stratégie bottom-up est préférée ici. En effet, le déplacement des appuis ne s'effectue pas en dernier, mais en premier, suivi par une réorientation des épaules et de la tête. Conformément aux résultats de Patla et coll. [Patla1999] et de Hollands et coll. [Hollands2001], nous trouvons un mouvement de roulis des épaules dans la direction opposée aux déplacements. Néanmoins celui-ci apparaît en dernier dans la réorientation (R1 et R2), ce qui laisse supposer une moindre influence de son action sur le changement de direction comparativement à un mouvement de marche [Patla1999]. La différence majeure entre DM et NDM réside donc au final dans une réorientation du CM plus tardive et pas réellement effective lors des DM. La stratégie bottom-up devrait permettre un déplacement du CM lors des DM, seulement comme nous l'avons vu ici, le déplacement de celui-ci est contré par une moindre oscillation et orientation du bassin (clef de voute du contrôle postural) pour pouvoir conserver une stabilité posturale et la possibilité d'une direction finale changeante. Dans le cadre des DM, lors de R2, le déplacement du IF n'initie pas la réorientation. Cela peut s'expliquer par un temps de contact pied/sol du OF très long, conséquence d'une réorientation importante nécessaire de tout le corps. Dans ce cas précis, où la situation est critique temporellement et nécessite un déplacement du CM efficace et rapide, nous rejoignons les résultats de Patla et coll. [Patla1999] et la théorie

du double pendule ou encore « stratégie des hanches » [Horak1986].

## 2.5 Conclusion

La première étape de notre questionnement a nécessité que l'on effectue une comparaison biomécanique entre les mouvements de feinte et de non feinte au rugby. Outre les conclusion biomécaniques inhérentes à ce premier travail, cette analyse nous a permis de mettre en évidence les intentions de minimisation de certains paramètres (informations cachées) et d'exagération de certains autres (informations se voulant trompeuses) lors d'un DM réalisé par un attaquant. En effet, les résultats montrent que le déplacement CM M/L et le mouvement de lacet du bassin au cours d'un mouvement d'un DM sont minimisés tandis que le déplacement M/L OF tout comme les mouvements de lacets de la tête et des épaules sont exagérés. Ceci suggère que les rugbymans exagèrent certains paramètres de leurs mouvements de feinte dans le but de faire croire à une fausse direction de course tout en minimisant certains autres paramètres plus fondamentaux dans le but de préserver une posture permettant un changement de direction soudain. Pour la suite de notre travail et dans la logique d'analyse perceptivo-motrice que nous poursuivons ici il nous semble pertinent de renommer respectivement ces notions de paramètres exagérés et minimisés en terme de signaux "trompeurs" et "honnêtes". En effet, si l'on resitue notre réflexion dans un cadre plus général qui est celui de la tromperie au sens large, les notions d'exagération et de minimisation ne reflètent pas les intentions des protagonistes, mais plutôt un état de fait. En revanche les qualificatifs "trompeur" et "honnête" confèrent aux constatations biomécaniques que nous avons pu tirer, une signification d'action.

## Chapitre 3

### Etude 2 : Expertise et prise de décision du défenseur face à une feinte de corps

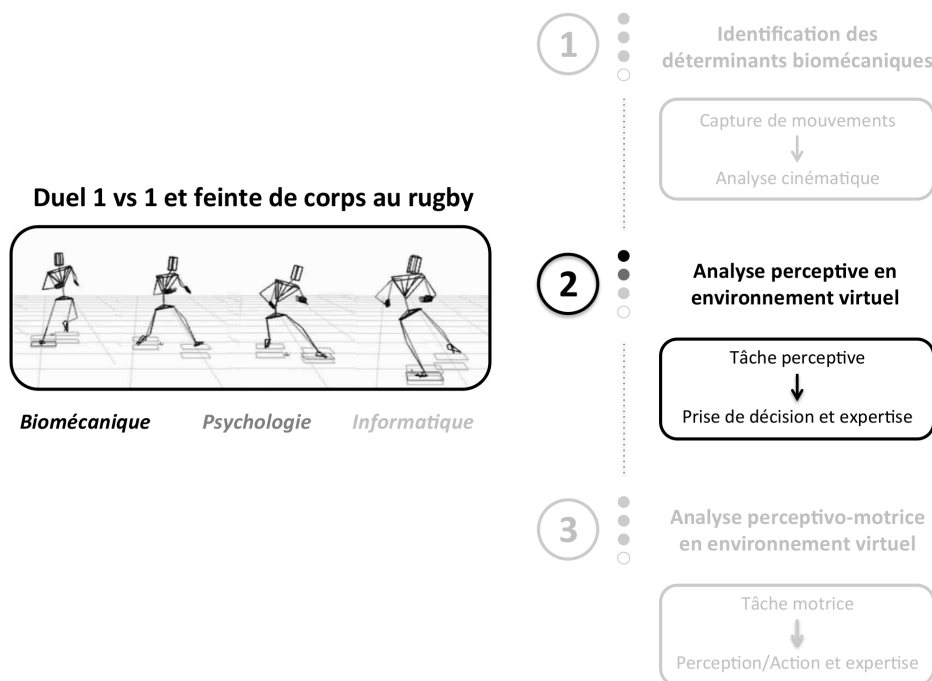


Figure 3.1 - Schéma de synthèse de notre approche : Etape 2

## 3.1 Introduction

La capacité à anticiper le plus tôt possible ce qu'un opposant direct va engager comme future action est un facteur déterminant de la performance sportive. Dans les sports de duel comme le rugby, l'attaquant a la possibilité de battre le défenseur en utilisant des mouvements de feinte. Comme nous l'avons montré dans l'étude précédente (section 2) ces stratégies motrices mettent en jeu deux types d'intentions : i) celle de tromper l'adversaire en exagérant certains paramètres, qualifiés alors de trompeurs ii) et celle de lui cacher des informations fondamentales, dites honnêtes, en les minimisant. Ce second travail a pour but d'explorer les différences en terme de prise de décision et de stratégies perceptives entre experts et novices durant un duel 1 vs. 1 en rugby. Plus précisément, nous proposons un cadre d'analyse : i) utilisant une situation de rugby virtuel ii) présentant une méthodologie nous permettant de comprendre quelles informations dynamiques de l'organisation corporelle de l'opposant semblent être utilisées « online » par les participants pour détecter les mouvements de feinte.

## 3.2 Méthodologie

### 3.2.1 Participants

Pour pouvoir tirer des conclusions sur une perception dite "experte", il est nécessaire que nous disposions de deux populations. La première constitue le groupe d'expert et est composée de 14 rugbymen professionnels, d'âge moyen 23.4 ans ( $\pm 2.3$ ). Ils évoluent tous au sein du club d'Ulster Rugby (Irlande du Nord) et prennent part au championnat de la "Magners league" ainsi qu'à la "Heineken cup". L'ensemble de ces joueurs joue ou a joué à un niveau international au sein d'équipe sénior ou junior. Le nombre moyen d'années de pratique est de 13.3 années ( $\pm 5.6$ ). Le second groupe comprend 14 novices d'âge moyen 27.6 ans ( $\pm 3.3$ ), tous étudiants à la Queen's University of Belfast et n'ayant aucune expérience dans le domaine du rugby, il constitue le groupe contrôle. Les participants ont tous rempli un formulaire de consentement avant l'expérimentation.

### 3.2.2 Mise en place

Notre protocole a pour objectif d'étudier la perception du joueur de rugby expert lors d'un duel 1 vs. 1 au rugby. Plus précisément, nous tenterons de donner un avis justifié sur ce que peut être la prise d'informations du défenseur expert et les déterminants visuels du mouvement de feinte. Pour étudier cette dernière, nous proposons un protocole basé sur la technique de l'occultation temporelle. En d'autres termes, nous allons pour chaque mouvement sélectionné, réaliser différentes coupes à différents instants. Ainsi, il va nous être possible de constater si les experts sont en mesure de prédire avec exactitude la

direction finale d'un attaquant de manière plus précoce que les novices. Mais encore, nous tenterons de coupler les résultats obtenus pour chaque mouvement avec l'analyse biomécanique que nous en avons effectuée.

Nous avons sélectionné 12 mouvements : quatre DM-L, quatre DM-R, deux NDM-L et deux NDM-R. Les réponses obtenues pour les mouvements D et G servent uniquement à assurer de l'incertitude durant le scénario pour qu'il n'y est pas que des mouvements de feinte. Pour chaque mouvement, nous réalisons quatre occultations. La première (T0) est effectuée au moment de l'appui 1 que nous avons évoqué auparavant. Les trois suivantes sont réalisées respectivement 100ms (T1), 200ms (T2) et 300ms (T3) après T0 (fig. 3.2). Pour pouvoir comparer sur un nombre suffisant, nous jouons quatre fois chaque mouvement occulté. Nous avons donc  $12 \text{ mouvements} \times 4 \text{ occultations} \times 5 \text{ répétitions}$  soit un total de 240 mouvements par scénario. Les mouvements sont joués dans un ordre aléatoire. Notons que nous avons réalisé quatre scénarios différents et que chaque sujet tirait au sort l'un des quatre scénarios avant de passer.

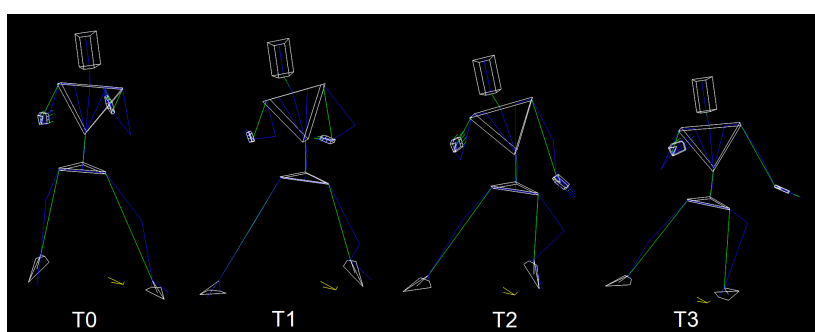


Figure 3.2 - Occultations temporelles

Durant l'expérience, le sujet a pour consigne d'attendre l'occultation puis de choisir avec la manette (fig. 3.4), sans aucune contrainte temporelle, la direction finale de l'attaquant. C'est à dire, s'il pense que celui-ci va passer à sa gauche ou à sa droite. Enfin, avant le début de la période d'expérimentation à proprement dite, chaque sujet bénéficie d'une période de familiarisation avec l'environnement virtuel par l'intermédiaire d'un scénario de six mouvements prélevés aléatoirement parmi les 224 répertoriés et non utilisés dans l'étude.

### 3.2.3 Détermination des temps d'occultation

Comme mentionné précédemment, nous utilisons pour notre expérimentation la technique des occultations temporelles. Leur nombre est de 4. L'objectif est de voir comment la réponse des participants évolue au fur et à mesure des différentes occultations. En d'autres termes, voir en quoi l'augmentation de la quantité d'informations visuelles dans la scène influence la prise de décision du défenseur expert ou novice. Par exemple, dans



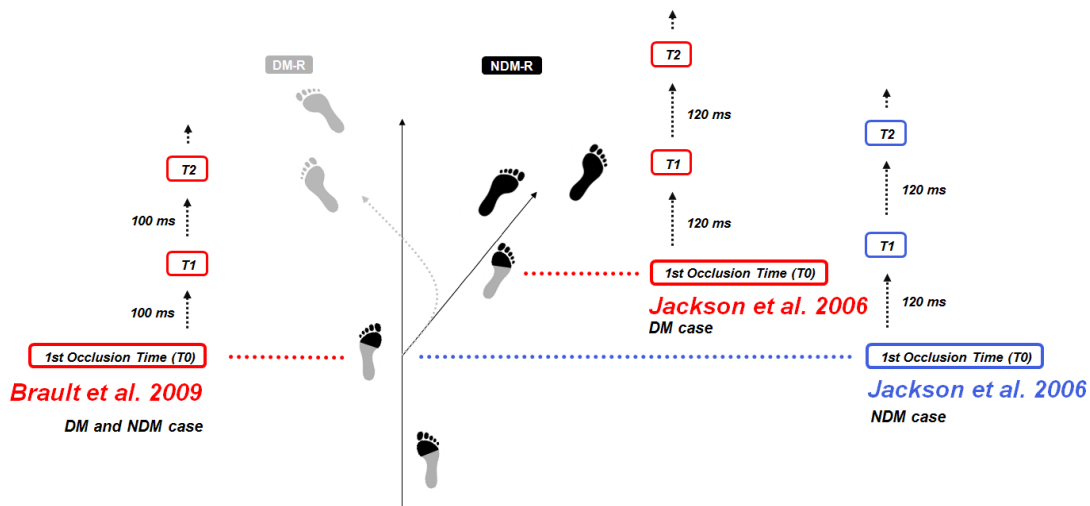


Figure 3.3 - Différences dans la détermination des occultations temporelles entre notre protocole et celui de Jackson et coll. [Jackson2006]

le cas d'un DM, la direction de course initiée sera différente de la direction de course finale, tandis que lors d'un NDM la direction initiale restera inchangée. Ainsi, durant un NDM, la direction initiée n'évoluant pas le jugement du défenseur ne devrait pas non plus évoluer. D'un point de vue informationnel pour le défenseur, un DM sur la droite, lors de la première orientation, doit en principe fournir des informations de même ordre qu'un NDM sur la droite. C'est donc l'influence de l'évolution de ces premières informations d'orientations que nous voulons analyser. En ce sens il apparaît nécessaire que le choix de la première occultation soit réalisé en fonction de cela et que celle-ci corresponde à un instant clé et identique d'un point de vue informationnel entre les DM et NDM. Si nous mentionnons cela, c'est parce que Jackson et coll. [Jackson2006] n'ont précisément pas déterminé leurs occultations en ce sens. Ceci représente, selon nous une limitation majeure de leur protocole. Selon nous de ces constatations devrait découler le choix des occultations. Le choix de leur première occultation fait référence au dernier contact de pied utilisé pour initier un changement de direction. Or, lors d'un NDM ce dernier appui fait référence à la première orientation, tandis que lors d'un DM, cet appui s'exécute lors de la seconde orientation. Afin de pouvoir comparer l'évolution du changement de décision il est au contraire nécessaire de standardiser le choix des occultations non pas par rapport au dernier changement de direction mais par rapport aux premières informations d'orientation initiées par l'attaquant. Par conséquent, dans notre cas, l'occultation de référence (T0) correspondra à l'appui effectué avant la première initiation de direction (appui droit pour les mouvements sans feinte à gauche et les mouvements de feinte à gauche et inversement). Les trois occultations suivantes sont réalisées respectivement, 100, 200 et 300 millisecondes (ms) après T0.

### 3.2.4 Chaîne d'animation et développement d'un environnement virtuel immersif

Nous présentons ici le travail réalisé pour proposer une situation virtuelle immersive. Nous allons, dans cette étape, aborder le processus allant de la capture de mouvement à l'animation de l'humanoïde ainsi que l'environnement 3D et la solution immersive de head-tracking. Notons que la solution finale de réalité virtuelle est gérée par le logiciel de développement 3D Virtools 4.0 et que tous les éléments développés sont intégrés dans ce dernier.

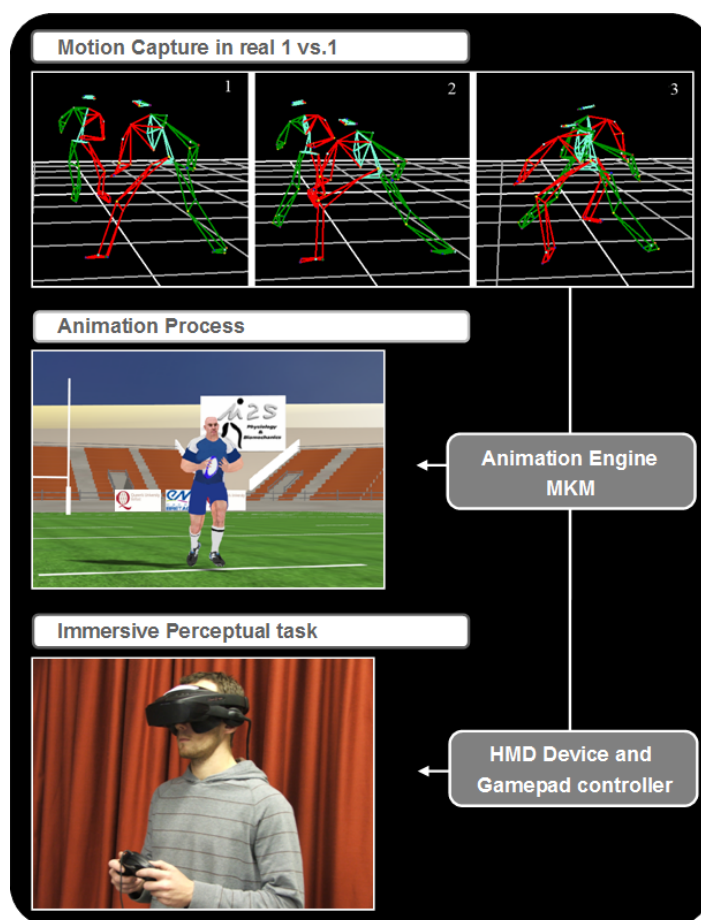


Figure 3.4 - Méthodologie générale : de la capture de mouvement à la tâche de jugement en environnement virtuel.

#### 3.2.4.1 Processus d'animation de l'humanoïde

La chaîne d'animation que nous avons suivie est constituée de différentes étapes (fig. 3.4 et 3.5). La première, que nous avons déjà détaillée consiste à réaliser les captures de mouvement. Au terme de celles-ci, nous obtenons donc un fichier \*.C3D pour chaque

mouvement. Ces fichiers, comportant la position des différents marqueurs au cours du temps, sont ensuite importés dans MotionBuilder 7.5 qui lui est un logiciel d'animation 3D. Un calcul des centres articulaires est réalisé à partir des positions 3D des marqueurs, puis un squelette hiérarchisé est apposé sur le mouvement. En sortie, un fichier \*.BVH est exporté qui contient les angles aux différentes articulations et les positions de la racine du squelette au cours du temps. L'étape suivante a pour objectif de rajouter les contraintes d'appui au sol, elle est réalisée avec MKM (Manageable Kinematic Motion) qui est un moteur d'animation temps-réel d'humanoïdes de synthèse développé dans le cadre de la collaboration entre l'IRISA de Rennes 1 et le laboratoire M2S de Rennes 2. Au final, nous obtenons un fichier \*.S4D d'animation qu'il sera possible de lire dans virttools en l'appliquant à un personnage de synthèse.

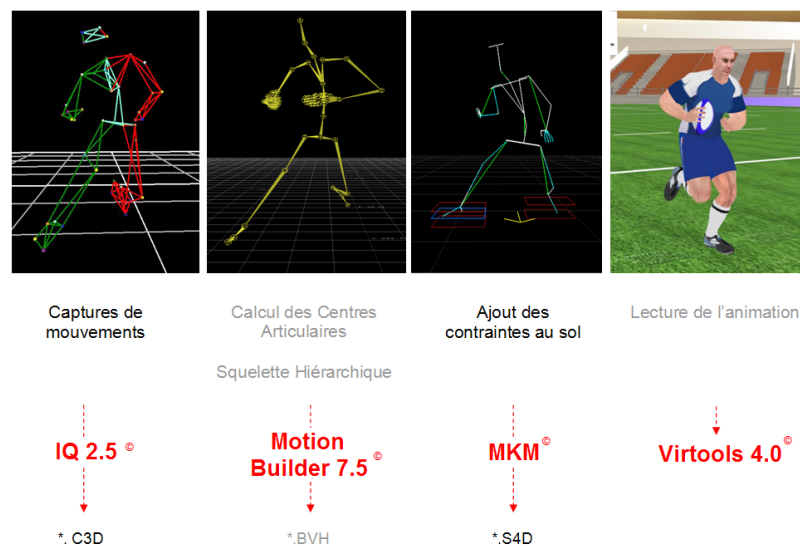


Figure 3.5 - Processus d'animation

### 3.2.4.2 Environnement 3D et head tracking

Le stade de rugby 3D (Fig. 3.6) a été réalisé sous 3DSmax9 puis exporté ensuite dans Virtools. Les différentes caractéristiques courantes d'un stade ont été représentées (pelouse, poteaux, marquage au sol, tribunes...). Mais encore, pour cette étude, l'atout technologique indispensable réside dans le fait que l'on puisse synchroniser en temps réel les véritables mouvements de la tête du participant et le point de vue de ce dernier dans le monde virtuel. Pour cela, nous utilisons le système Intersense IS900 (InterSense Inc., Bedford, Massachusetts, USA) équipé d'un capteur sans fil placé sur le HMD et de récepteurs disposés au plafond. La connexion établit entre le système et virttools nous a permis de mettre en place ce suivi de la tête dit "head tracking" (en rotation et positions) dans l'environnement virtuel et par conséquent d'améliorer l'immersion du sujet.



Figure 3.6 - Stade 3D

### 3.2.4.3 Matériel

Comme nous l'avons précisé, cette expérience nécessite l'utilisation couplée d'un casque de réalité virtuelle dit encore HMD (Head Mounted Display) et d'un système de capture de mouvement. Le casque est un Cybermind Visette pro (Fig. 3.7) composé de deux écrans d'une résolution de 1280\*1024 et permettant un angle de vue de 45°. Le suivi des mouvements de la tête ("head tracking") est assuré via l'intersense IS900 (InterSense Inc., Bedford, Massachusetts, USA). Le capteur fixé sur le casque de réalité virtuelle permet une adaptation "temps-réel" (120 Hz) du point de vue du sujet dans l'environnement 3D (déplacements et rotations). Enfin, nous utilisons également une manette de commande Microsoft Sidewinder (fig. 3.4). Celle-ci est interfacée avec Virtools pour nous permettre d'enregistrer les réponses du sujet.



Figure 3.7 - HMD - Cybermind Visette pro

### 3.2.4.4 Traitement des données et statistiques

A partir des données obtenues, nous allons pouvoir calculer le pourcentage de réussite par sujet et par mouvement. Une analyse de variance à 3 voies (ANOVA) : 2 (populations : experts, novices)  $\times$  2 (mouvements : DM, NDM)  $\times$  3 (occultations : T0, T1, T2, T3) testera ensuite l'effet de l'expertise, du type de mouvement présenté et du moment de l'occultation. Ces résultats nous permettront d'explorer les capacités perceptives des deux populations et de voir si les experts sont à même de mieux détecter les mouvements de feinte.

### 3.2.5 Invariants informationnels

Cette section est directement liée à notre second but de cette étude, à savoir, comprendre et expliquer pourquoi les experts seraient meilleurs face à des mouvements de feinte. Pour cela, nous allons coupler les résultats de la prise de décision avec l'évolution cinématique de certains paramètres du mouvement adverse. Lors d'un mouvement de feinte, le but pour l'attaquant est de débiter une course dans une fausse direction puis de soudainement changer celle-ci. Cette réorientation implique différentes stratégies en fonction de différents paramètres cinématiques (minimisation ou exagération). Ainsi comme nous l'avons vu précédemment, certains vont être minimisés : le déplacement M/L CM et le mouvement de lacet du bassin ; et d'autres exagérés : le déplacement M/L OF ainsi que les mouvements de lacet de la tête et des épaules. Pour détecter un mouvement de feinte le plus tôt possible, l'objectif pour le défenseur va être de prendre de l'informations sur des paramètres lui indiquant la direction poursuivie par l'attaquant. Les paramètres présentés précédemment vont précisément permettre d'interpréter la direction actuelle suivie par l'attaquant et surtout l'évolution soudaine ou non de celle-ci. En d'autres termes, visuellement, la fermeture de l'intervalle entre l'état initial (direction de l'attaquant avant la feinte) et l'état maximal (déviation maximale dans la direction trompeuse avant la réorientation) fournirait des informations dynamiques permettant de spécifier une réorientation probable imminente et donc une feinte.

A ce sujet, tau est une variable qui encapsule la manière dont un intervalle change au cours du temps [Lee1998]. Numériquement, rappelons-le, tau ( $\tau$ ) se définit par le ratio entre l'ampleur actuelle de l'intervalle,  $x$ , et le taux de fermeture de cet intervalle (dérivée),  $\dot{x}$ , tel que  $\tau(x) = x/\dot{x}$ . Plusieurs études ont montré qu'il était possible de réguler le « timing » d'un mouvement [Lee1981] ou de déterminer le moment d'arrivée [Regan1993] en utilisant la variable tau d'un intervalle entre un objet et son effecteur. Ainsi, il apparaît possible de conceptualiser le fait que le tau des paramètres d'orientations que nous avons défini permettrait de spécifier le temps restant avant une possible réorientation de l'attaquant. Il pourrait constituer une variable permettant d'anticiper la direction finale de course d'un attaquant. Dans le domaine du sport, cette variable pourrait ainsi être considérée comme un guide influençant le processus de décision et d'action. Dans notre cas, il apparaît possible et intéressant d'utiliser cette variable pour anticiper les pics de réorientation de certains paramètres biomécaniques d'un mouvement de feinte

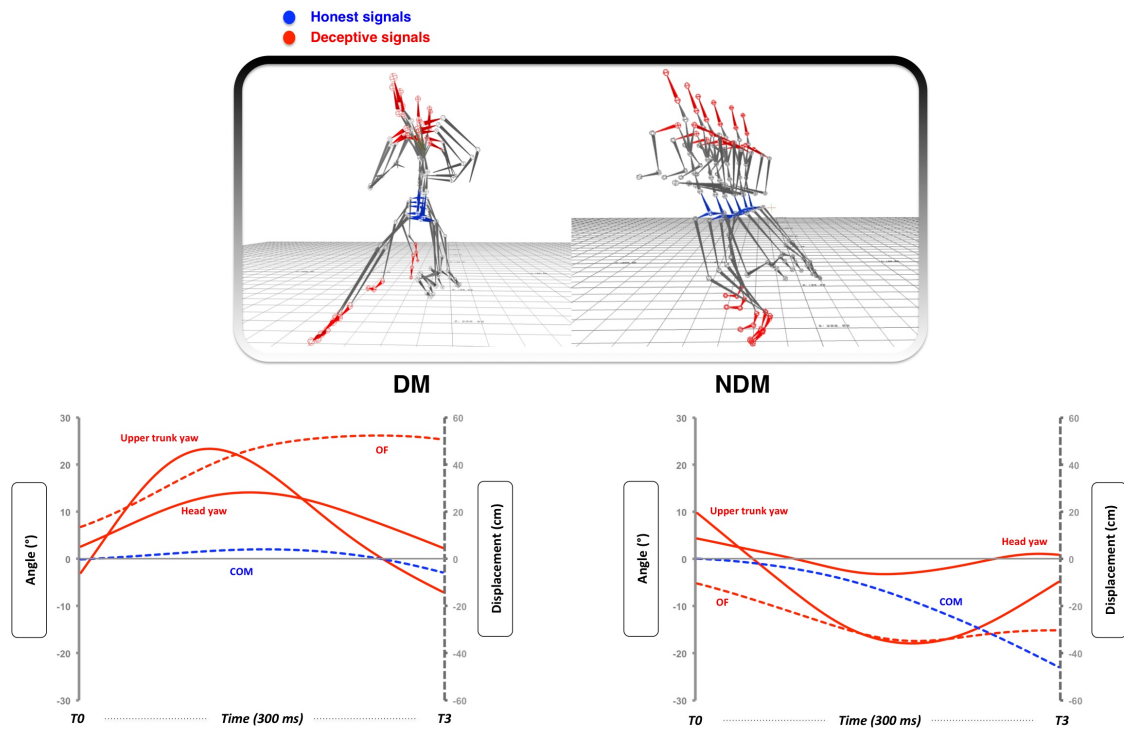


Figure 3.8 - Dynamique de la feinte de corps. Les représentations du squelette dans les deux premiers panneaux illustrent la manière dont se déroule un DM (panneau de gauche) et un NDM (panneau de droite). La décomposition en images clés permet d'observer l'évolution des signaux honnêtes (bleu) et trompeurs (rouge). Les graphiques ci-dessous montrent comment ces paramètres cinématiques et cinétiques évoluent au cours du temps, à savoir : le déplacement M/L CM (COM), le déplacement M/L OF (OF), et le mouvement de lacet de la tête et des épaules

et déceler une direction trompeuse comme telle.

Ainsi, les intervalles que nous utilisons vont être définis par la différence entre l'état courant d'un paramètre (position ou angle en fonction des paramètres) et son état final au pic de réorientation. Sur la figure 3.8 il peut être observé que chaque paramètre est utilisé soit comme signal honnête ou trompeur et que son état initial et final est différent de chacun des autres paramètres, tant en amplitude que temporellement. Par conséquent la détermination des valeurs tau des différents signaux ainsi que les temps de fermeture des intervalles vont être spécifiques à chaque paramètre. Afin d'explorer cette hypothèse nous avons donc calculé le tau (fig. 3.9) pour chaque variable ( $\tau^{variable}$ ) pour chaque type de mouvement (DM et NDM). Ce dernier est obtenu ainsi :

$$\tau_{variable} = \frac{Gap_{t\_reorientation} - Gap_{t\_current}}{Gap_{t\_reorientation} - Gap_{t\_current}} \quad (3.1)$$

avec  $Gap_{t\_reorientation}$  l'amplitude maximale (cm ou °) de l'intervalle au moment de la réorientation ( $t\_reorientation$ ),  $Gap_{t\_current}$  l'état courant du paramètre étudié à

l'instant  $t_{reorientation}$ . Le dénominateur est la dérivée de la différence calculée au numérateur. Notons que l'état final est recentré sur zéro au moment de la réorientation, tel que l'intervalle soit "fermé" et donc égal à 0 (cm ou °) au moment de ce pic (fig. 3.9). Cette formule informe, indépendamment pour chaque paramètre, sur le temps restant avant la réorientation de ce dernier. En guise de comparaison, nous considérerons l'ampleur de chaque paramètre ( $X$ ), leurs dérivés ( $\dot{X}$ ) ainsi que le tau de l'intervalle ( $Tau$ ) créé entre l'état initial et maximal (pic de réorientation). Notons que nous n'analyserons pas l'orientation du pelvis, étant donné que les courbes ne présentent pas de « patterns » de réorientation réguliers.

Comme nous l'avons précédemment expliqué nous mettons en lien le pourcentage de bonnes réponses par population, par mouvement et pour chaque occultation avec ces différents paramètres détaillés précédemment en utilisant une régression logistique (S-shaped) ('a' et 'b' sont des constantes et 'u' le majorant) (fig. 3.10) :

$$f(x) = \frac{1}{(1/u) + (a \times b^x)} \quad (3.2)$$

Ce type de fonction est typiquement utilisé pour modéliser le comportement face à une décision binaire. L'échantillonnage des réponses doit être distribué de 0 à 100% pour permettre la régression. Les pourcentages de bonnes réponses sont régressés séparément avec les différentes variables dans le but de voir si l'une d'entre elle semble guider le jugement des participants. La régression logistique est définie par un coefficient de détermination ( $R^2$ ) symbolisant le degré d'utilisation de cette variable pour prédire la direction finale de l'attaquant (fig. 3.10). Les différents  $R^2$  obtenus pour chaque variable vont nous permettre de classer ces dernières par ordre d'importance pour chaque population et tenter d'expliquer pourquoi les experts sont meilleurs. Comme nous l'avons précédemment mentionné, le challenge de ce travail est d'analyser les capacités perceptives faces à un mouvement humain « incertain ». Autrement dit, étant donné la variabilité de ce type de situation, les régressions dévoilant un  $R^2$  supérieur à 0.5 seront retenues pour des comparaisons inter-groupes. Par conséquent, l'analyse des CV ne sera, de la même manière, effectuée que lorsque le  $R^2$  sera supérieur à 0.5.

### 3.2.6 Valeurs critiques ( $CV$ ) et temps estimés ( $t_{CV}$ )

Toujours dans le but de comprendre, plus en détails, pourquoi les experts sont meilleurs, nous calculerons ensuite les valeurs critiques ( $CV$ ) pour chaque variable régressée. Ces  $CV$  font référence à la valeur de la variable correspondant à 50% de bonnes réponses. Cette donnée, correspond à un seuil à partir duquel la majorité des jugements sont corrects (>50%). La  $CV$  peut ensuite être repositionnée sur la courbe moyenne d'évolution de la variable dans le but d'estimer le temps (avant ou après le pic de réorientation) à partir duquel le pourcentage de bonnes réponses est supérieur à 50% ( $t_{CV}$ ) (fig. 3.11). Un pourcentage de bonne réponse de 50% apparaissant plus tôt pourra ainsi



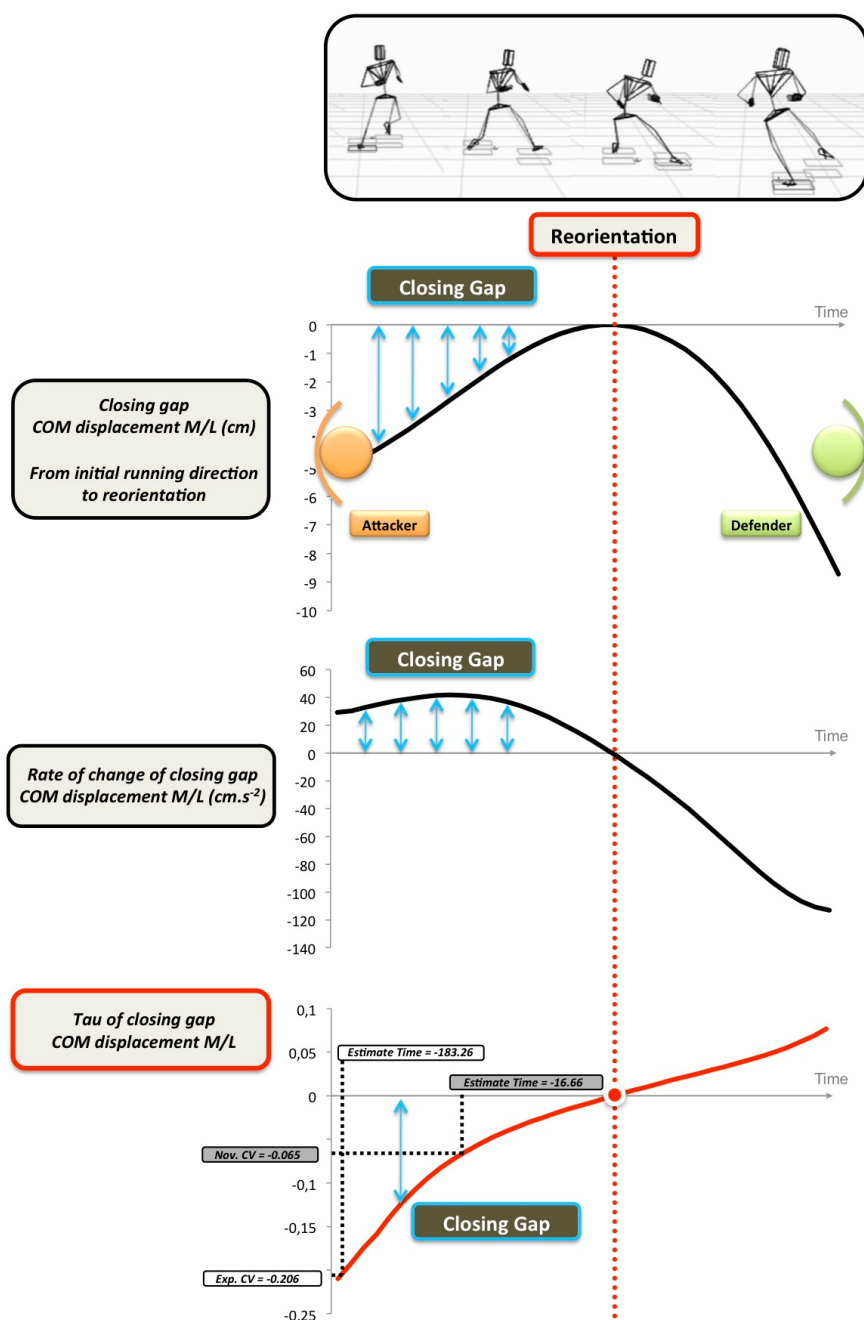


Figure 3.9 - Exemple de calcul du tau pour le déplacement M/L CM lors d'un DM sur la droite. Le 1<sup>er</sup> graphique montre comment l'intervalle se fermant, créé par le déplacement M/L CM, est défini par la différence entre la position médio-latérale courante de l'attaquant et la position médio-latérale maximale qu'il atteindra (qui correspond au pic de réorientation symbolisé par la ligne verticale en pointillés rouges). Le second graphique montre la dérivée de ce premier paramètre et le troisième la valeur tau. Sur le graphique du bas les valeurs critiques (CV) sont présentées pour les experts (Exp. CV) et les novices (Nov. CV).

expliquer un moindre besoin en termes de quantité d'informations pour correctement interpréter la situation. En d'autres mots, ces estimations de temps peuvent consti-



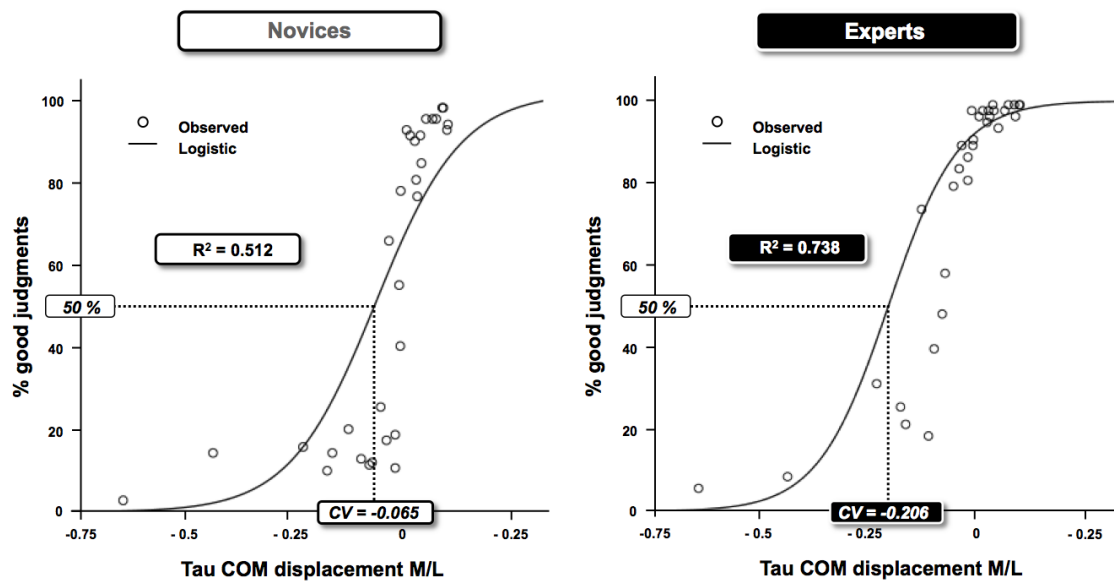


Figure 3.10 - Comparaison d'une régression logistique ( $R^2$  et CV) experte et novice pour un même paramètre : le tau du déplacement M/L CM (Tau COM déplacement M/L)

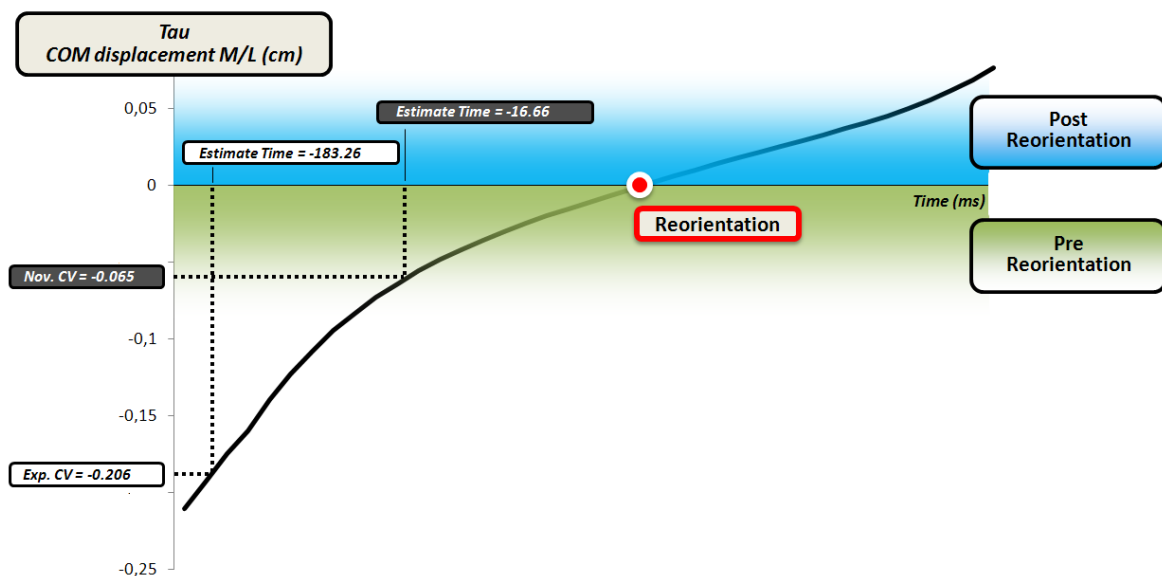


Figure 3.11 - Evolution du tau du déplacement M/L CM (Tau COM déplacement M/L). Les  $t_{CV}$  (estimate times) et les CV sont déterminés pour chaque population (Nov. CV et Exp. CV). Le croisement de la courbe avec l'axe horizontal (time en ms) correspond au pic de réorientation du paramètre.

tuer des indicateurs intéressants de la sensibilité des participants à une même variable. Une CV plus précoce témoigne d'une habileté du défenseur à interpréter avec moins d'informations un devenir plus exacte de l'action.

### 3.3 Résultats

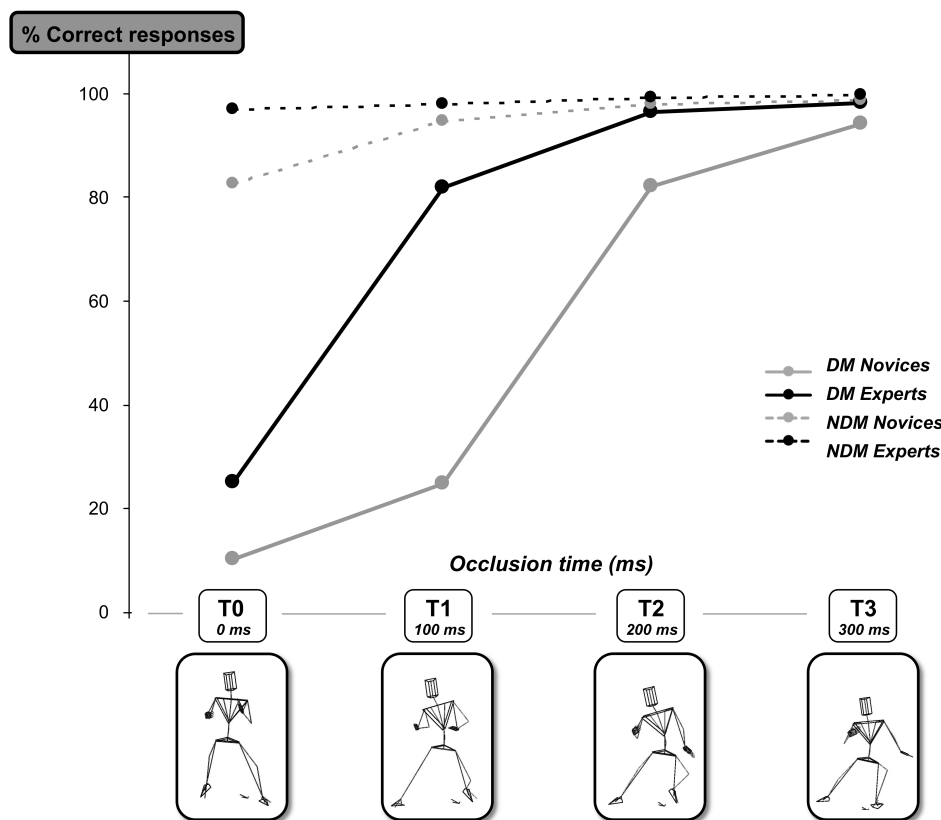


Figure 3.12 - Pourcentages de bonnes réponses pour les experts et les novices à chaque occultation (T0, T1, T2 et T3) et pour les deux types de mouvements (DM et NDM)

#### 3.3.1 Pourcentages de bonnes réponses

Ce travail a pour but de comprendre les facteurs influençant la capacité à prédire la direction finale d'un opposant direct. L'analyse ANOVA à trois voies a révélé un effet majeur du facteur « occultations » ( $F(1,224)=777.80$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2 = 5.72$ ). Ainsi, de manière non surprenante la performance augmente significativement de T0 ( $54.02\% \pm 38.85$ ) à T1 ( $75.22\% \pm 32$ ) à T2 ( $94.73\% \pm 9.15$ ) à T3 ( $98.53\% \pm 3.07$ ) (fig. 3.12). Par ailleurs, l'analyse a également révélé un effet majeur du facteur « mouvements » ( $F(1,224)= 318.90$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2 = 7.03$ ). En d'autres termes, la prédiction de la direction finale de course est plus précise et plus performante lorsque l'opposant réalise des mouvements sans feinte de corps (sans feinte :  $96.61\% \pm 7.11$  ; avec feinte :  $64.64\% \pm 37$ ) (fig. 3.12). Concernant le facteur « population », l'analyse met également en

évidence un effet majeur ( $F(1,224)=118.96$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.88$ ), avec des experts significativement plus performants ( $86.87\% \pm 25.65\%$ ) que les novices ( $74.38\% \pm 34.61$ ) et ce particulièrement face aux DM à T1 (Exp.  $81.79\% \pm 17.91$  vs. Nov.  $24.46\% \pm 10.88$ ,  $p<.001$ ).

### 3.3.2 Analyse des régressions logistiques : Experts vs. Novices

Les résultats précédents nous permettent maintenant de procéder aux régressions logistiques que nous avons détaillées précédemment. Cette section a ainsi pour objectif de présenter le degré d'affinité de chaque population avec chaque paramètre, honnête et/ou trompeur. De plus, les CV ainsi que les temps estimés correspondants ont pour but de mettre en évidence les différences entre experts et novices en termes de sensibilité aux différentes variables.

#### 3.3.2.1 Stratégies visuelles

La figure 3.13 répertorie les résultats des régressions logistiques. Dans un premier temps, les différences intra-groupes montrent que les paramètres  $X$ , et  $\dot{X}$  ne semblent pas être des variables utilisées par les deux groupes ( $R^2 < 0.5$ ). La comparaison inter-groupe laisse suggérer, elle, des stratégies visuelles différentes entre experts et novices. En effet, les paramètres peuvent être classés par ordre d'importance pour les deux populations. Ainsi, pour les experts, le paramètre semblant être le plus utilisé est le tau du déplacement M/L CM ( $R^2 = 0.74$ ). Ce résultat signifie que 74% de la population semble être guidé par ce paramètre. Les autres paramètres tau présentent des  $R^2$  plus petit et similaires. Les valeurs sont respectivement de 0.54, 0.52 et 0.51 pour le tau de l'orientation des épaules, le tau de l'orientation de la tête et le tau du déplacement M/L OF. Pour les novices, le principal paramètre pris en considération est le tau de l'orientation des épaules ( $R^2 = 0.67$ ), très proche du résultat obtenu pour le tau de l'orientation de la tête ( $R^2 = 0.60$ ). Suivent respectivement le tau du déplacement M/L CM et le tau du déplacement M/L OF avec des valeurs de 0.51 et 0.441 ( $R^2$ ).

#### 3.3.2.2 Sensibilité perceptive

Les valeurs des CV ont été projetées sur les courbes moyennes de tau et ont ainsi pu être utilisées pour estimer le temps à partir duquel une variable devient pertinente pour détecter des mouvements de feinte (fig. 3.11) (% bonnes réponses  $> 50$ ). Les résultats des ( $t_{CV}$ ) montrent que pour tous les paramètres, les CV des experts apparaissent plus tôt (fig. 3.13). Aucune comparaison statistique ne peut être réalisée ici étant donné que

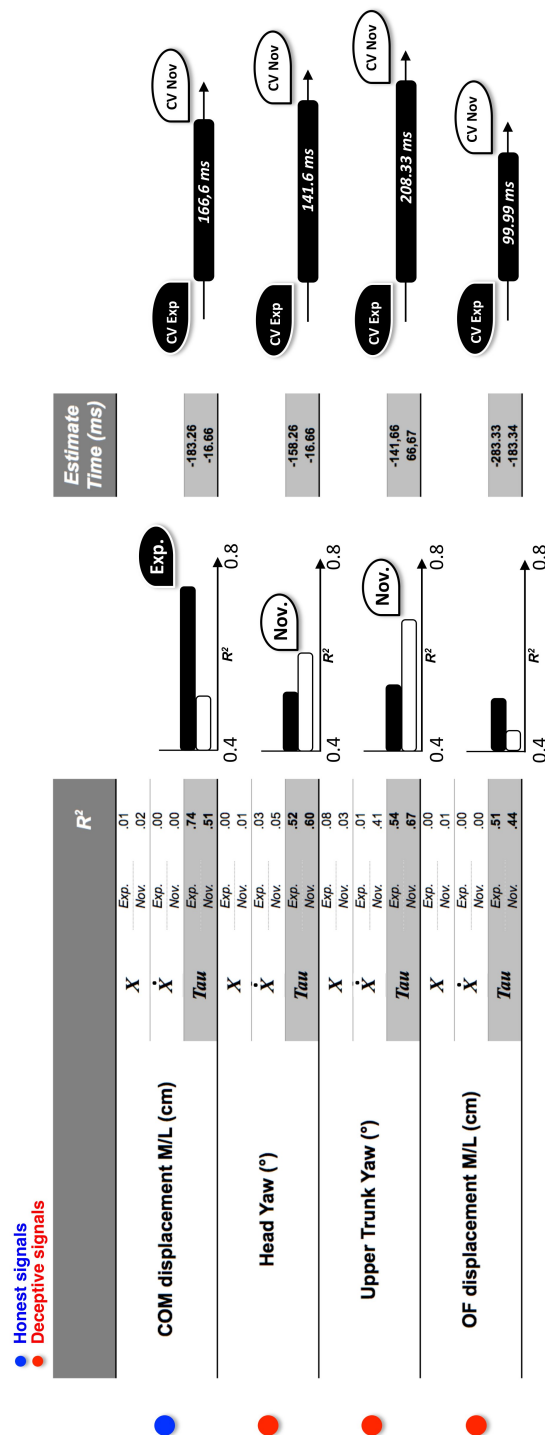


Figure 3.13 - La partie gauche du tableau montre comment la stratégie perceptive diffère entre experts et novices, et ce, par l'intermédiaire des différents  $R^2$  et des différents types de signaux (honnêtes en bleu et trompeurs en rouge). La partie droite du tableau met en évidence des différences de sensibilité par l'intermédiaire des  $t_{CV}$  issus de la régression logistique et des  $CV$  de chaque paramètre

nous n'avons qu'une seule valeur par population et par paramètre. Néanmoins, nous pouvons observer une évidente et très intéressante différence entre experts et novices. Ainsi, les CV apparaissent respectivement pour le déplacement M/L CM, l'orientation de la tête, des épaules, et le déplacement M/L OF, 166.6ms, 141.6ms, 208.33ms et 99.99ms plus tôt pour les experts comparativement aux novices.

## 3.4 Discussion

Ce travail présentait deux objectifs majeurs. Premièrement, mettre en évidence les différences en terme de prise de décision entre experts et novices au cours d'une tâche de détection de mouvement de feinte. Afin de pallier aux différentes limites couramment rencontrées par les études menées dans ce domaine, nous avons mis en place une situation en environnement virtuel. Deuxièmement, dans le but de comprendre pourquoi les experts sont précisément meilleurs, nous avons développé une méthodologie nous permettant d'analyser indirectement les stratégies perceptives.

### 3.4.1 Mise en évidence des capacités de prise de décision supérieures de l'expert

Au regard de la simple analyse des pourcentages de bonnes réponses, nos résultats montrent que les joueurs de rugby experts présentent des capacités supérieures à détecter la direction finale de course d'un opposant direct et par conséquent des habiletés à détecter plus tôt les tentatives de feinte de l'adversaire. Ces résultats sont en accords avec ceux de Jackson et coll. [Jackson2006] et de manière générale avec les résultats empiriques du domaine. Par ailleurs, les résultats révèlent une performance significativement supérieure face aux mouvements sans feinte ainsi qu'occultations après occultations. Ceci suggère que la quantité et la qualité des informations augmentent à chaque occultation. En d'autres termes, plus une occultation est réalisée tardivement et plus la quantité d'informations visuelles disponibles pour le défenseur est grande.

De plus, comme nous l'avions supposé, pour les NDM le pourcentage de bonnes réponses atteint un plafond proche de 100% au lieu de 64.6% pour les mouvements de feinte. En effet, la première information d'orientation donnée par l'attaquant durant les deux types de mouvement tente d'être aussi similaire que possible. Seulement, dans un cas (NDM) aucune réorientation n'apparaît. Le premier jugement ne nécessite donc pas d'être changé par le défenseur. Dans l'autre cas (DM) une phase de réorientation s'opère nécessitant de faire évoluer l'intention initiale de la part du défenseur. Ceci explique pourquoi la performance plafonne dès les premières occultations pour les mouvements sans feinte. Concernant les mouvements avec feinte, la capacité à faire évoluer très rapidement son jugement initial de la part du défenseur va caractériser ses capacités accrues en terme de prise de décision. L'étape suivante aborde la compréhension même

de ces différences de prise de décision entre experts et novices. En somme, elle devrait nous permettre de répondre à la question : Comment les experts sont-ils capables d'interpréter cette première orientation initiée par l'attaquant comme fausse de manière plus précoce que les novices ?

### 3.4.2 Vers une compréhension de l'expertise

La seconde partie de notre hypothèse suggérait que les novices seraient plus influencés par les informations trompeuses données à voir par l'attaquant, tandis que les experts seraient en mesure de prendre en compte des indices visuels plus pertinents (signaux honnêtes). Nos résultats vont clairement dans ce sens. En effet, les experts semblent être plus guidés par le déplacement M/L CM que trompés par les paramètres exagérés que sont l'orientation de la tête, des épaules et le déplacement M/L CM. Comme envisagé, les novices sont eux plus influencés par ces paramètres trompeurs. Comme nous l'avons suggéré dans notre précédente étude, l'attaquant exagérerait certains paramètres dans le but de consciemment tromper le défenseur à propos de sa direction de course tandis qu'il minimiserait au même moment d'autres paramètres impliqués dans le contrôle postural (déplacement M/L CM) afin de dissimuler le fait qu'il va opérer une réorientation imminente.

Par conséquent, la stratégie de détection experte semble être plus globale, se fiant à des informations plus pertinentes et essayant de démasquer les tentatives de minimisation. Contrairement à cela, les novices semblent être plus influencés par les informations trompeuses que donnent à voir l'attaquant. Par ailleurs, même si nous n'avons pas pu réaliser d'analyse statistique pour la comparaison des ( $t_{CV}$ ) il est clairement apparu que les experts présentent une sensibilité plus grande face à une même quantité d'informations. Ils sont en effet capable de prédire correctement, majoritairement (>50%) et avec moins d'informations l'issue finale d'une situation. Comme nous l'avons déjà mentionné, ces conclusions sont basées sur l'idée que la décision est guidée « en ligne » à partir des informations visuelles de la situation. En d'autres termes, portés par l'école de pensée de la perception directe nous avons voulu montrer que les informations prospectives peuvent être utilisées pour guider la décision. Dans ce cas l'expérience du joueur serait moins importante que sa capacité à prélever « en ligne » des informations dynamiques. Ainsi, contrairement à ce que Sebanz et Shiffrar [Sebanz2009] suggèrent, l'expérience ne permettrait pas au sujet de se construire des représentations internes utilisables dans le futur. Au contraire, son expérience lui permettrait de réduire la quantité d'informations nécessaire pour interpréter correctement l'issue finale d'une situation. Nos résultats supportent cette idée. Enfin, bien que Jackson et coll. [Jackson2006] avaient suggéré que l'expertise perceptive jouerait un rôle significatif dans les processus de détection des mouvements de feinte, aucune évidence n'avait pu être établie. Nos résultats ont permis non seulement de conclure à ce sujet mais ils ont également permis d'approfondir la compréhension de ces mécanismes. Nous avons en effet, montré que l'expertise est directement déterminée par une activité perceptive/visuelle spécifique et adéquate mais également et surtout par une sensibilité supérieure face à une même quantité d'informations.

## 3.5 Conclusion

Nous avons montré que les experts sont meilleurs dans les tâches de détection de mouvement de feinte, mais pourquoi ? Premièrement, car ils sont capables de prélever des informations plus pertinentes et plus fondamentales (honnêtes) dans le mouvement de l'attaquant sans être trop influencés par les informations se voulant trompeuses. Deuxièmement, parce qu'ils sont plus sensibles à une même quantité d'informations. En d'autres termes, ils sont capables de prédire correctement la direction finale de course d'un attaquant avec moins d'informations et sont donc en mesure de détecter les mouvements de feinte plus tôt que les novices. L'étape suivante de ce travail consiste à analyser la réponse complète, c'est à dire perceptivo-motrice du défenseur face à un mouvement de feinte.

## Chapitre 4

### Etude 3 : Stratégie perceptivo-motrice du défenseur face à une feinte de corps : effets de l'expertise

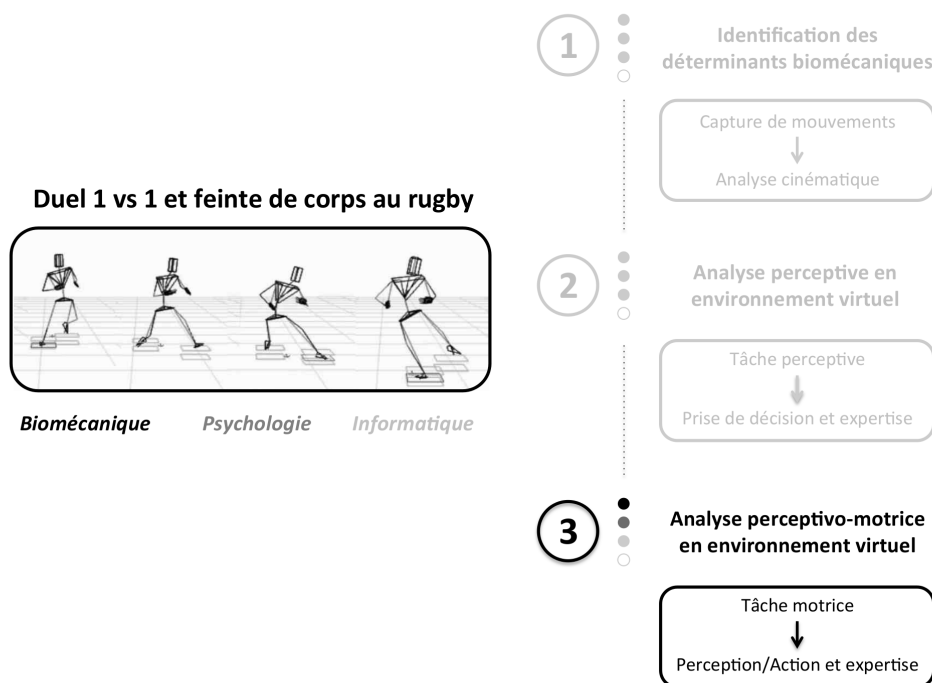


Figure 4.1 - Schéma de synthèse de notre approche : Etape 3



## 4.1 Introduction

Les conclusions que nous avons pu tirer lors de l'étude 2 sont certes intéressantes et réinvestissables mais il est, selon nous, une étape supplémentaire à envisager. En effet, comme nous avons pu le voir dans la littérature et dans nos résultats précédents les experts sont bien meilleurs prédicteurs. Cependant, leur meilleure capacité à prédire de manière conscientisée n'est peut-être pas proportionnelle à leur capacité à réagir sous la contrainte temporelle ? Peut-être sont-ils bien meilleurs dans l'action ? Peut-être que la différence de niveau serait encore nettement plus marquante entre l'expert et le novice dans ce type de situation ? C'est précisément tout le problème des études basées sur l'idée qu'évaluer les capacités de prédiction d'un joueur c'est avoir un aperçu de ses capacités en action. Ce n'est qu'une partie de la différence entre l'expert et le novice. C'est pour cela que nous proposons cette troisième et dernière expérimentation dans le but de comprendre la boucle complète perception-action lors d'un duel 1 vs. 1 au rugby et qui plus est face à des mouvements de feinte.

## 4.2 Méthodologie

La méthodologie que nous proposons ici est globalement la même que lors de l'étude précédente avec cependant une variante majeure. Cette dernière fait référence au mode d'interaction des sujets avec l'avatar virtuel. La réponse ne sera pas seulement un jugement via une manette de jeu, mais une action complète de défense. Au cours de cette section, nous aurons l'occasion de détailler les verrous technologiques que nous avons soulevés pour parvenir à cela.

### 4.2.1 Participants

Afin d'explorer cette fois la boucle perception-action "experte" il nous est indispensable, tout comme dans l'étude précédente, de tester une population de très haut niveau ainsi qu'un groupe novice. Pour cela nous disposons de 12 joueurs professionnels du même club d'Ulster rugby que lors de la seconde expérimentation ( $23.9 \text{ ans} \pm 2.9$ ) et de 12 novices ( $22.6 \text{ ans} \pm 2.6$ ) également étudiants à la Queen's University of Belfast tout comme dans l'expérimentation précédente. Les participants ont tous rempli un formulaire de consentement avant l'expérimentation.

## 4.2.2 Mise en place

L'expérimentation utilise le même processus d'animation et les mêmes mouvements que ceux présentés dans l'étude précédente. Néanmoins, les mouvements ne seront pas coupés à différents temps d'occultations mais seront présentés dans leur totalité aux participants. Les mouvements utilisés sont les mêmes que dans l'expérimentation précédentes (8 DM, et 4 NDM) et sont régis par le même processus d'animation. Nous invitons le lecteur à se référer à la section 3.2.4 pour plus de détails concernant celui-ci. Notons que la sollicitation physique accrue lors de cette expérimentation nécessite un scénario allégé en terme de nombre d'essais. Il est en effet inenvisageable de demander aux participants de disputer 240 duels sans que la fatigue ne vienne perturber les résultats. En somme nous présentons à chaque participant : 12 mouvements \* 5 répétitions soit un total de 60 duels par scénario. Entre chaque essai, il est demandé au sujet de se replacer au centre de la salle. Une pause est accordée tous les 20 essais.

## 4.2.3 Matériel

Toute la difficulté de cette troisième étude est principalement technologique. En effet, il est nécessaire de placer les sujets dans une situation pleinement immersive en terme de possibilités d'actions. La mise en place doit permettre au sujet d'évoluer librement dans l'espace et de la manière la plus réaliste possible.

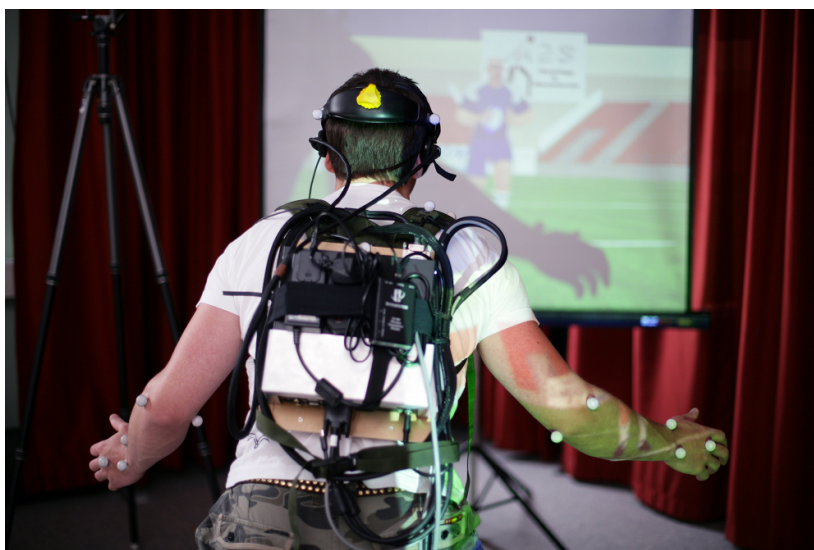


Figure 4.2 - Système de contrôle du HMD embarqué sur le sujet

Le HMD que nous utilisons est toujours le Cybermind Visette pro (fig. 3.7) composé de deux écrans d'une résolution de 1280\*1024 et permettant un angle de vue de 45°. Néanmoins, étant donné que les sujets ne sont pas fixes mais qu'ils doivent être à même de se déplacer librement il a été nécessaire de réfléchir à une solution portable. Pour

cela, nous avons mis en place un système embarqué, permettant d'attacher le boîtier de fonctionnement du HMD directement sur le participant (fig. 4.2). Ce dernier n'étant pas sans fil, nous avons fait en sorte de ne laisser dépasser que les fils d'alimentation vidéo et électriques de ce système, en prenant garde à laisser suffisamment de longueur pour ne pas perturber le déplacement du défenseur. Avec un tel dispositif, les sujets peuvent évoluer librement sans être perturbés. Le faible poids du système ne gêne en aucun cas les simples déplacements sur la droite ou sur la gauche que requiert l'expérimentation. L'espace disponible est d'environ 3m tout autour du sujet, ce qui est amplement suffisant au regard de la situation proposée (fig. 4.4). De la même manière que dans la précédente expérimentation, le suivi des mouvements de la tête est assuré via l'intersense IS900 (fig. 4.3 et 4.4).



Figure 4.3 - A gauche : espace d'expérimentation possédant les capteurs intersense fixés au plafond. A droite : sujet équipé du HMD et de l'émetteur infrarouge intersense

Enfin pour que nous puissions analyser les données cinématiques de la réponse motrice du participant nous ajoutons au protocole un système de capture de mouvements. Le système utilisé est le Qualisys, composé de six caméras infrarouges (fig. 4.4). Nous équipons ainsi les participants avec le même jeu de marqueurs définis dans la première étude (fig. 4.4). Nous serons ainsi à même de calculer le déplacement du CM du défenseur.

#### 4.2.4 Paramètres analysés

L'expérimentation que nous menons a pour objectif d'évaluer la régulation de la boucle perception-action de l'expert et du novice face à une tentative de feinte de corps d'un adversaire. Par conséquent, il est indispensable que nous soyons en mesure de chiffrer la réponse motrice pour pouvoir la comparer d'une population à une autre. L'unique paramètre que nous calculons est le CM, car il est le seul à pouvoir refléter la réponse globale du sujet. Néanmoins, nous analysons ensuite celui-ci sous différents aspects. Le premier concerne le moment d'initiation du déplacement du défenseur (Tinit). Afin

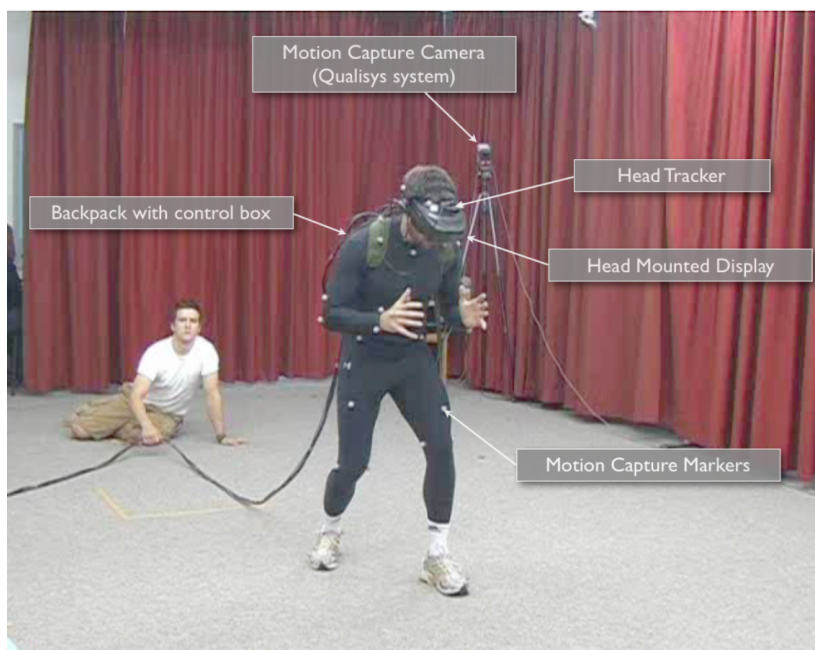


Figure 4.4 - Sujet équipé pour l'expérimentation 3. Les différents équipements nécessaires à l'expérimentation sont indiqués ici : le HMD et son système de contrôle embarqué sur le sujet, le système de capture de mouvements (caméras et marqueurs) et le capteur infrarouge servant à récupérer les mouvements de la tête

d'obtenir celui-ci, nous déterminons un seuil de vitesse de déplacement dans le plan médio-latéral à partir duquel nous considérons une initiation de déplacement effective. Ce seuil est fixé 0.5 m.s<sup>-1</sup>. Par ailleurs, nous déterminons également le pourcentage de duel face à des DM ayant engendré un déplacement dans la mauvaise direction. C'est ce que nous qualifierons de déplacements précoces dans la mauvaise direction. L'avant-dernier critère que nous retenons est l'amplitude de ces déplacements précoces dans la mauvaise direction lorsqu'ils sont présents. Autrement dit, de combien le défenseur s'est-il déplacé dans la mauvaise direction lorsque cela s'est produit. Enfin, le dernier critère que nous analysons est la performance pure du défenseur, c'est à dire la distance minimale qu'il a pu créer entre lui et l'attaquant à n'importe quel moment du duel. Cette distance est en lien direct avec sa potentielle possibilité d'intercepter le défenseur.

#### 4.2.5 Traitement des données et statistiques

Les données sont traitées statistiquement et de manière indépendante pour chaque critère via une analyse de variance à 2 voies : 2 (populations : experts, novices) x 2 (mouvements : DM, NDM). Les comparaisons croisées sont ensuite explorées via des student t-test. Ces résultats nous permettront d'explorer les stratégies perceptivo-motrices des deux populations et d'expliquer pourquoi les experts seraient meilleurs face à des DM.

## 4.3 Résultats

### 4.3.1 Délai d'initiation du mouvement

Le premier critère de comparaison que nous avons analysé concernait le délai d'initiation du mouvement de défense pour chaque population. L'objectif était ici de voir si experts et novices présentent ou non des stratégies similaires. Les résultats intra-groupes montrent, dans un premier temps, que les mouvements de défense ne sont pas initiés significativement plus tôt face à un DM qu'à un NDM, et ce tout aussi bien chez les experts (DM  $288.7\text{ms} \pm 45.6$  vs. NDM  $246.8\text{ms} \pm 30.1$ ;  $p=.251$ ) que les novices (DM  $206.7\text{ms} \pm 69.9$  vs. NDM  $178.7\text{ms} \pm 63$ ;  $p=.592$ ). Par contre, en ce qui concerne la comparaison inter-groupes, notons que les experts attendent significativement plus longtemps avant d'initier leur déplacement (Experts  $267.74\text{ms} \pm 36.18$  vs. Novices  $192.71\text{ms} \pm 63.82$   $t(22)=3.54$ ;  $p=.002$ ) (fig. 4.5, 4.6 et 4.7). Cette différence se retrouve lorsque l'on croise les paramètres, avec des valeurs significativement plus petites pour les novices face aux DM comparativement aux experts face également aux DM (Experts  $288.7\text{ms} \pm 45.6$  vs. Novices  $206.7\text{ms} \pm 69.9$ ,  $p=.003$ ). La même constatation peut s'opérer en ce qui concerne les NDM (Experts  $246.8\text{ms} \pm 30.1$  vs. Novices  $178.7\text{ms} \pm 63$ ,  $p=.019$ )

### 4.3.2 Pourcentage de déplacements précoces dans la mauvaise direction

Après avoir mis en évidence cette première particularité de la stratégie experte, venons en à la comparaison du pourcentage de déplacements précoces dans la mauvaise direction. Notons, que si les experts attendent plus longtemps avant d'initier un mouvement de défense, ils ont à disposition une quantité d'informations plus importante, et donc plus fiable car plus proche du dénouement final de l'action. Par conséquent, nous pouvons supposer qu'ils présenteront un pourcentage de déplacements précoces dans la mauvaise direction plus faible. Les résultats confirment cette hypothèse. On observe en effet, un pourcentage significativement plus faible de mouvements initiés dans la mauvaise direction chez les experts comparativement aux novices (Novices  $41.9\% \pm 20.5$  vs. Experts  $14.62\% \pm 9.8$ ;  $t(12)=-4.219$ ,  $p=.01$ ).

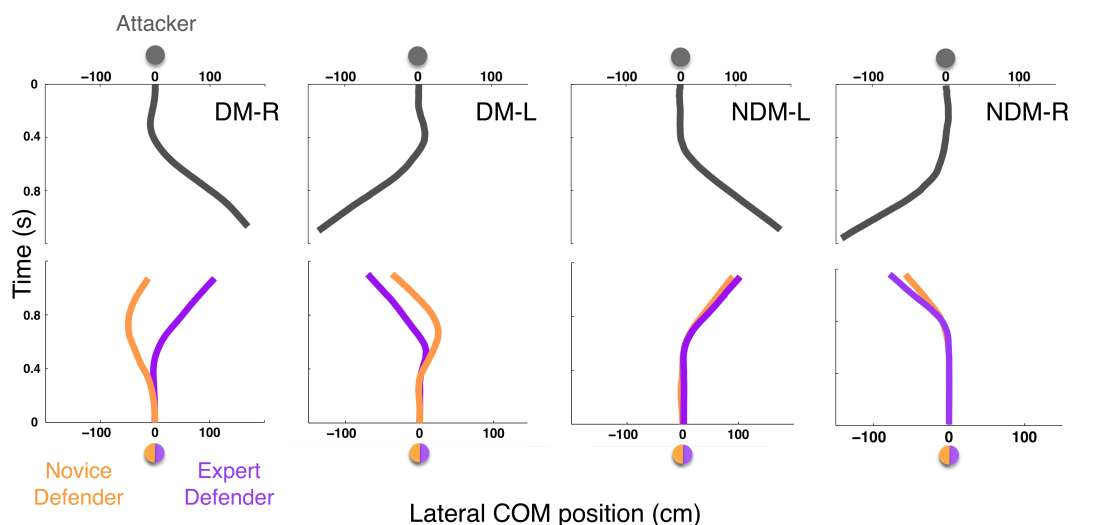


Figure 4.5 - Effets de l'expertise sur l'initiation du mouvement et le déplacement du défenseur. Quatre exemples de trajectoires d'attaquant virtuel (gris foncé - DM-R, DM-L, NDM-L, NDM-R) et leur influence sur les mouvements de défense d'un expert (violet) et d'un novice (jaune). Les trajectoires représentent les déplacements latéraux (cm) du CM au cours du temps (0s correspond à l'instant de l'occultation T0 de l'expérimentation 2)

### 4.3.3 Amplitude des déplacements précoces dans la mauvaise direction

Confiant que les deux critères précédents témoignent d'une différence de stratégies entre experts et novices, nous supposons maintenant qu'un nombre moindre de départ dans la mauvaise direction et ce plus tardivement engendrera une amplitude de ces déplacements précoces dans la mauvaise direction plus faible chez les experts. A nouveau, les résultats vont dans ce sens et montrent que les experts, comparativement aux novices présentent une amplitude lors des déplacements précoces dans la mauvaise direction significativement plus petite (Novices  $15.51\text{cm} \pm 8.92$ ; Experts  $12.81\text{cm} \pm 8.01$ ,  $t(267)=2.2$ ;  $p = .028$ ).

### 4.3.4 Performance

Enfin, après avoir dressé un bilan intéressant de la stratégie motrice experte, nous sommes en droit de vouloir vérifier que ces différences engendrent bien un gain de





Figure 4.6 - Illustration d'un mouvement de défense d'un expert face à un DM

performance chez les experts comparativement aux novices. Pour cela nous avons calculé la distance minimale que le défenseur a eu face à l'attaquant durant le duel. Les résultats montrent, comme attendu, que les experts sont en mesure de se retrouver plus près de l'attaquant que les novices, durant un duel présentant un DM (Novices  $70.8\text{cm} \pm 7.6$  ;

\*\*\* p<.001  
\*\* p<.01  
\* p<.05

	Experts		Novices	
	DM	NDM	DM	NDM
Initiation displacement (ms)	288.7 ± 45.6	246.8 ± 30.1	206.7 ± 69.9	178.7 ± 63
Number early bias (%)	14.2 ± 9.8	-	41.9 ± 20.5	-
Amplitude early bias (cm)	11.7 ± 3.8	-	15 ± 2.7	-
Performance final distance between Att. and Def. (cm)	49.2 ± 11.4	96.2 ± 11.5	70.8 ± 7.6	105.6 ± 9.6

Figure 4.7 - Tableau récapitulant pour chaque groupe et chaque condition : les délais d'initiation des déplacements, le pourcentage de déplacements précoces dans la mauvaise direction, l'amplitude des déplacements précoces dans la mauvaise direction et la distance finale entre l'attaquant et le défenseur (performance)

Experts 49.2cm ± 11.4, p<.001).

## 4.4 Discussion

Lors de l'expérimentation précédente, nous avons montré que les experts sont plus sensibles aux signaux honnêtes (déplacement M/L CM) spécifiant la direction finale de course alors que les novices sont plus à l'écoute des signaux trompeurs. Les résultats avaient également montré une sensibilité accrue des experts. En d'autres termes, pour un paramètre donné, les experts sont en mesure d'obtenir une majorité de réponses correctes (> 50%) plus tôt. Par conséquent, on peut supposer qu'ils sont capables d'anticiper avec précision le résultat d'un mouvement d'attaque avec moins d'informations. L'idée de cette seconde expérimentation était de voir si ces différences entre experts et novices apparaissaient de la même manière lors d'un duel complet nécessitant une réponse motrice du défenseur. Concernant cette tâche perceptivo-motrice, les résultats soulignent le fait que les experts, par rapport aux novices, attendent beaucoup plus longtemps avant d'initier un déplacement pour intercepter l'attaquant virtuel. Ils sont capables de faire un nombre sensiblement inférieur d'erreurs de déplacement dans la mauvaise direction ainsi que des déplacements avec une amplitude significativement plus faible dans la mauvaise direction. Ce type de résultats a déjà été observé dans la littérature [Dessing2010]. Dessing et Craig [Dessing2010], ont immergé des gardiens de but de football (10 novices et deux experts) en environnement virtuel et ont observé leurs stratégies motrices face à différentes conditions de coups-francs. Leurs résultats ont mis évidence, chez l'expert le plus expérimenté, une attitude d'attente plus mar-



quée avant toute initiation de mouvement. Une telle stratégie permettrait d'observer la trajectoire de la balle plus longtemps et ainsi de mieux détecter la courbure de la trajectoire de balle avant d'initier tout mouvement. Dans notre cas, l'attente plus longue du défenseur lui permettrait également d'obtenir des informations plus fiables sur la véritable direction finale du défenseur.

Seulement, de telles stratégies, que ce soit en football, rugby ou autre ne sont envisageables que si les sujets s'accordent une plage d'intervention néanmoins suffisante au regard de leur niveau d'expertise motrice. En d'autres termes, un défenseur novice décidant de partir plus tard, accédera peut-être à une quantité d'informations de meilleure qualité, mais ne sera peut-être plus en mesure de parcourir la distance nécessaire pour intercepter l'attaquant dans le temps restant.

Cette idée est également soulevée par Dessing et Craig [Dessing2010], l'initiation du mouvement ne serait pas uniquement régulée par les caractéristiques de la situation mais aussi par les capacités d'actions de chacun.

En somme, nous mettons à nouveau en évidence l'idée que la perception et l'action sont intimement liées et que leur couplage est déterminant pour la performance. L'une va dépendre de l'autre et inversement. Plus les capacités motrices sont importantes, plus le laps de temps nécessaire pour effectuer le mouvement adéquat est court, et donc par conséquent, plus la perception peut avoir accès à d'autre informations. Inversement, un participant avec des capacités motrices limitées se devra de déclencher tôt son mouvement pour se donner le temps de pouvoir intercepter l'attaquant, et se verra donc contraint de fier son jugement à une quantité d'informations moindre et moins fiable.

Par ailleurs et dans le même ordre d'idée, ce déclenchement de mouvement retardé permettrait aux experts de diminuer l'influence des informations cognitives ou des préjugés a priori de l'action (ici la rotation de la balle par exemple, ou encore la course d'élan du tireur de manière générale). Nous sommes persuadés que les informations cognitives inhérentes à la situation (avant même que celle-ci débute ou au tout début de son initiation) exercent une persistance vis à vis des informations prospectives de la situation. Il y aurait d'après nous un point d'inversion où les informations prospectives deviendraient prépondérantes et principalement prises en compte par les participants. Plus la prise de décision s'effectue tard après ce point et plus la part des informations d'ordre écologique est grande. Si l'on ajoute à cela le fait qu'il est incontestable que ces dernières sont plus fiables, car propres à la situation (entre un acteur et son point de vue de la situation), alors on comprend pourquoi les experts sont meilleurs en adoptant ce type de stratégie.

## 4.5 Conclusion

En sport, l'hypothèse de "l'expérience perceptive" admet que les experts sont meilleurs à détecter les mouvements de feinte de part leur expérience visuelle plus aguerrie [Jackson2006, Abernethy2007] tandis que la "common coding theory" attribue un avan-

tage aux experts de part leur capacité d'action supérieure, par conséquent à l'origine de capacités perceptives accrue [Hommel2001, Rizzolatti2001, Schütz-Bosbach2007]. Bien que ces théories de l'expertise se sont focalisées sur les capacités des experts à faire de meilleurs jugements, ils ont eu tendance à négliger deux aspects fondamentaux : le potentiel caractère prospectif des informations véhiculées par le corps, ainsi que leurs implications sur la prise de décision et l'action d'un opposant direct. La solution présentée ici répond à ces deux questions. En décomposant l'action motrice de l'attaquant en variables prospectives nous avons pu identifier quels paramètres perceptifs sont utilisés par tel ou tel défenseur. Cela nous a également permis de montrer que ces derniers étaient à même d'influencer la réponse finale motrice.

Si l'on inverse le duel et que l'on se place maintenant dans la peau d'une proie (humaine ou animale), on comprend aisément que l'augmentation des informations tompeuses permet de donner un avantage certain en détournant l'attention d'un prédateur des informations plus honnêtes trahissant une véritable intention.

L'idée est maintenant de prendre en compte ces différences de capacité perceptives et motrices et de tenter de les intégrer dans un modèle nous permettant de recréer un défenseur interactif. Ce challenge, intéressant et pertinent à notre sens, est en cours de développement et va être présenté dans le chapitre suivant.



## Chapitre 5

# Vers un duel interactif, perspective future

Si nous étions portés à l'origine par une volonté de connaissances fondamentales, il est apparu, au cours de nos travaux, très intéressants et très pertinents de proposer un outil d'entraînement et d'explorations futures pour le domaine de la recherche. Cette idée émane donc de la volonté de concrétiser un projet jusqu'à son application. C'est pourquoi, nous avons exploré la piste d'un simulateur interactif reprenant l'ensemble des connaissances que nous avons pu extraire tout au long de ce travail.

Précédemment, au cours de l'expérimentation en environnement virtuel, nous avons mis en évidence que les novices n'étaient pas en mesure de détecter un mouvement de feinte et d'y réagir de manière aussi performante qu'un expert. Nous avons démontré que cela pouvait s'expliquer par différents facteurs. Tout d'abord, d'un point de vue purement perceptif, nous avons vu que novices et experts présentaient des stratégies perceptives différentes (prise en compte différente des paramètres exagérés/minimisés) ainsi qu'une sensibilité différente face à une même quantité d'informations. D'un point de vue moteur maintenant, nous avons également pu constater que les stratégies étaient différentes entre experts et novices.

En somme, les experts (i) prennent des informations différentes des novices, (ii) sont en mesure de mieux prédire le devenir de l'action avec moins d'informations et donc plus tôt (iii) et enfin ont une stratégie motrice intégrant une initiation de déplacement plus tardive.

En intégrant ces résultats, l'idée est maintenant de proposer un défenseur virtuel interactif, répondant aux tentatives de dépassement (en 1 vs 1) d'un attaquant. Pour cela, il est indispensable que nous prenions en compte ces facultés perceptives, décisionnelles et motrices du défenseur et que nous soyons en mesure de les appliquer en temps réel. Ce travail nécessite encore du développement avant d'être totalement opérationnel, nous sommes néanmoins en mesure de préciser notre démarche et les premières avancées que nous possédons d'ores et déjà. Afin de mener à bien ce travail il est indispensable

que nous définissons différents axes de développement au service d'une solution finale. Le premier axe s'attachera à présenter la modélisation du comportement du défenseur que nous envisageons. Le second axe abordera le couplage entre les données issues de la modélisation et l'animation d'un défenseur virtuel. Enfin le troisième axe investiguera les solutions technologiques que nous envisageons pour mettre en place le simulateur.

## 5.1 Modélisation du comportement du défenseur

Pour animer par la suite un défenseur en fonction du niveau d'expertise il est nécessaire que l'on soit à même de déterminer, dans un premier temps, le moment d'initiation de son déplacement et l'éventuel moment où il change de direction.

### 5.1.1 Quand initie-t-il son déplacement ?

Au regard des résultats que nous avons obtenus à la suite de l'expérimentation en mouvement (4) nous sommes en mesure de préciser au défenseur virtuel le moment d'initiation de son mouvement en fonction de son niveau. Les résultats avaient mis en évidence un déclenchement plus tardif pour les experts ainsi qu'une absence de différence significative entre les DM et NDM (Experts : DM=288.7ms NDM=246.8ms ; Novices : DM=206.7ms NDM=178.7ms). Dès lors il est possible de calculer la moyenne par population de cet instant d'initiation du mouvement. Les résultats sont les suivants : Experts = 267.75ms ; Novices = 192.7. Pour conclure sur ce point, il nous suffira donc de déclencher le mouvement du défenseur 267.75ms ou 192.7ms (respectivement si l'on veut animer un défenseur expert ou novice) après la détection d'un appui initiant une première orientation.

### 5.1.2 Quand change-t-il éventuellement de direction ?

Au cours de cette section, nous allons aborder les aspects perceptifs et décisionnels du comportement du défenseur. Pour cela nous suggérons une méthode qui nous permet, à partir des régressions logistiques, de retrouver un pourcentage de chance de probable réorientation à chaque pas de temps. L'objectif ici est d'être en mesure de prédire le moment où le défenseur a détecté la réorientation de l'attaquant et engage lui aussi une réorientation. En d'autres termes, cela équivaut au moment où sont pourcentage de bonnes réponses dépasse les 50% sur les régressions logistiques. Seulement, nous disposons de différentes régressions logistiques pour chaque paramètre cinématique et pour chaque niveau (expert vs. novice). L'idée est donc de pondérer l'influence de chacun

de ces paramètres, et ce différemment en fonction du niveau. Nous décidons d'attribuer à chaque variable un coefficient équivalent à son  $R^2$ .

Concrètement, à chaque instant du mouvement de l'attaquant et pour chaque paramètre cinématique nous sommes en mesure de déterminer sa valeur tau. Cette dernière nous permet de déterminer un pourcentage de chance de probable réorientation de l'attaquant (par projection sur les régressions logistiques :  $\%_{COM}(t)$ ,  $\%_{Tête}(t)$ ,  $\%_{Epaules}(t)$ ). Chaque pourcentage probable obtenu pour chaque paramètre est ensuite pondéré, comme nous l'avons expliqué précédemment, par son  $R^2$  ( $R^2_{COM}$ ,  $R^2_{Tête}$ ,  $R^2_{Epaules}$ ). Au final, nous obtenons un pourcentage global et probable de réorientation de l'attaquant à chaque instant. La différence entre expert et novice s'opère à deux niveaux. Le premier changement intervient au niveau des pondérations, les paramètres exagérés étant plus pris en compte par les novices que les experts et inversement pour les paramètres minimisés. Le second niveau de variation est incorporé dans les régressions logistiques en elles-mêmes et est lié à la différence de sensibilité face à une même quantité d'informations entre experts et novices. En effet, les régressions logistiques étant toutes décalées « vers la droite » pour les novices, alors pour une même valeur tau le pourcentage probable de réorientation sera plus petit. Cela est en lien avec les différences observées pour les CV expliquées précédemment. Voici l'équation utilisée pour déterminer ce pourcentage de chance de probable réorientation à chaque instant  $t$  ( $\%PR(t)$ ) de l'attaquant :

$$\%PR(t) = \%_{COM}(t) \times \frac{R^2_{COM}}{\sum R^2} + \%_{Tête}(t) \times \frac{R^2_{Tête}}{\sum R^2} + \%_{Epaules}(t) \times \frac{R^2_{Epaules}}{\sum R^2} \quad (5.1)$$

Avant d'aborder l'application de ceci en temps réel nous avons testé cela sur le jeu de données que nous possédions afin de voir si nous étions à même de reproduire les résultats de l'expérimentation en jugement. Les figures 5.1 et 5.2 présentent les résultats obtenus. Comme nous pouvons le constater notre modélisation semble être à même de prédire en fonction des informations cinématiques de l'attaquant, ce qui pourrait être interprété comme la prise de décision du défenseur.

Après avoir abordé le principe de fonctionnement que nous envisageons et sa faisabilité "offline", nous nous devons de noter que l'application finale se veut temps-réel et qu'elle nécessite par conséquent quelques ajustements. Le premier ajustement est inhérent à la détermination du pic de réorientation. Dans les calculs présentés précédemment le pic est déterminé à-posteriori et les calculs effectués en fonction de ce dernier. Ici, il est nécessaire de déterminer ce pic au préalable de telle manière à pouvoir effectuer le calcul de l'intervalle se fermant en temps réel. Pour cela, nous choisissons des valeurs pic extrêmes, permettant tout de même de symboliser un intervalle se fermant ou s'ouvrant. Les valeurs maximum que nous posons sont les suivantes : 200cm pour le déplacement CM M/L, et 180° pour les angles des épaules et de la têtes. La seconde modification, en lien avec la première, implique que l'on inverse le rapport  $x/\dot{x}$  de telle manière à ne pas obtenir d'artefact dans la cinématique du tau. En effet, ce dernier n'étant finalement jamais fermé (pic maximum de réorientation jamais atteint) la courbe du tau n'est pas régulière et difficilement utilisable comme tel. En d'autre terme, c'est donc la valeur inverse du tau que nous utilisons.

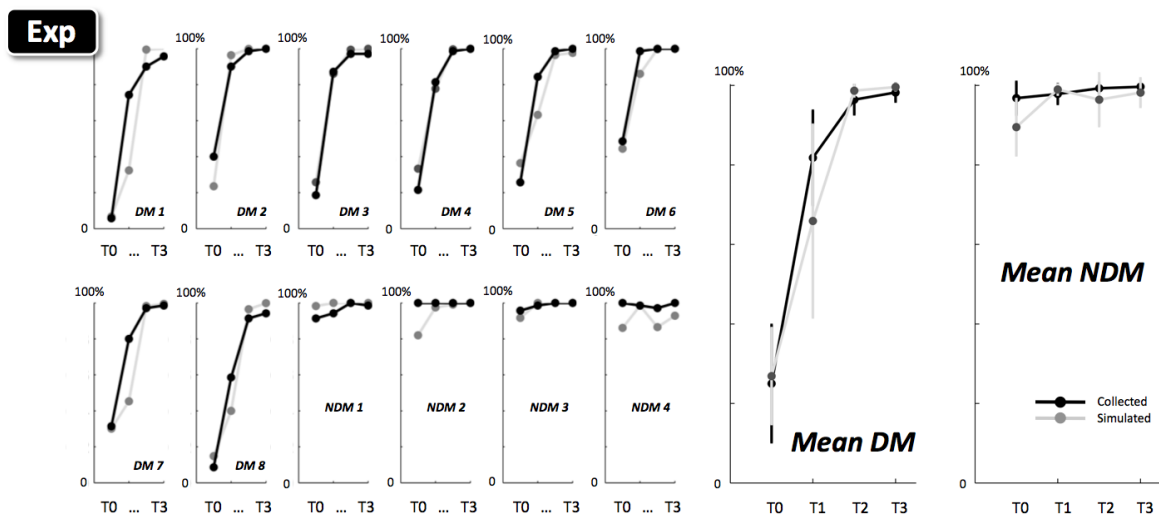


Figure 5.1 - Résultats de la modélisation de la prise de décision des experts (en gris), comparés aux véritables résultats obtenus lors de l'étude 1 (en noir). Sont présentés, les résultats pour 8 DM, 4 NDM ainsi que la moyenne pour chaque type de mouvement (DM et NDM)

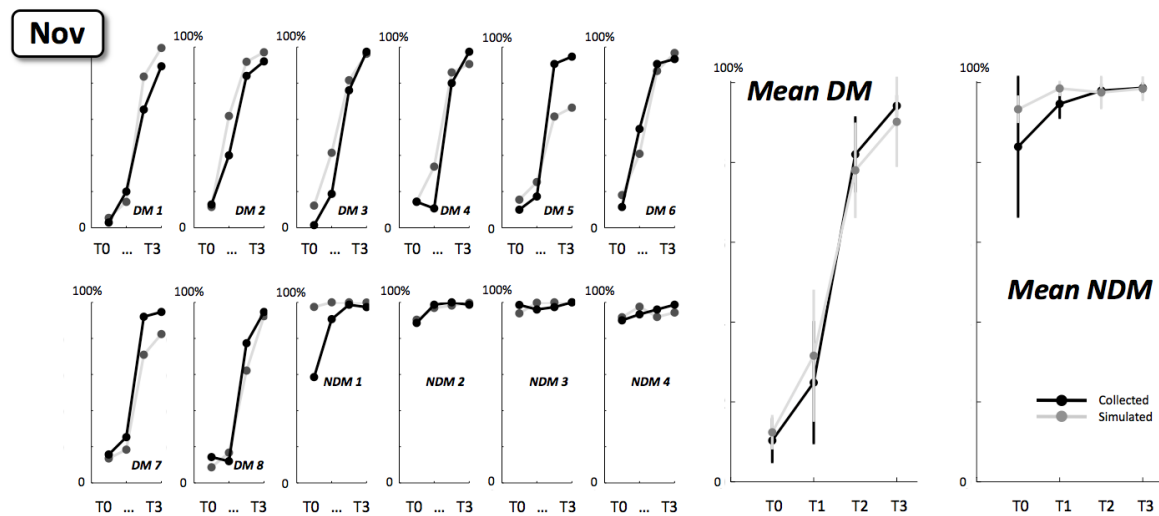


Figure 5.2 - Résultats de la modélisation de la prise de décision des novices (en gris), comparés aux véritables résultats obtenus lors de l'étude 1 (en noir). Sont présentés, les résultats pour 8 DM, 4 NDM ainsi que la moyenne pour chaque type de mouvement (DM et NDM)

Disposant maintenant d'une modélisation temps-réels de la prise de décision du défenseur nous sommes en mesure de déterminer le moment où il détectera une feinte. Autrement dit, le moment où le pourcentage probable de réorientation de l'attaquant dépassera les 50%, et ce en fonction du niveau choisi du défenseur, expert ou novice. La poursuite de ce travail passe maintenant par un couplage avec un avatar virtuel, à même de réagir de manière réaliste à la modélisation de son comportement.

## 5.2 Animation temps-réel du défenseur



Figure 5.3 - Séance de captures de mouvements utilisées pour l'animation du défenseur interactif. Illustration de trois zones de défense différentes

Comme nous l'avons expliqué, notre but est de développer un défenseur virtuel et interactif capable de décrypter, plus ou moins bien en fonction de son niveau (expert vs. novice), les intentions motrices d'un attaquant réel. L'animation de ce dernier se doit donc d'être crédible et réaliste. A cette fin, nous avons réalisé des nouvelles captures de mouvements de défenseur en action. Nous disposons d'un nombre limité de mouvements à l'origine à partir desquels nous devons être en mesure de générer un nombre illimité de possibilités d'action du défenseur (car le changement peut intervenir à n'importe quel moment et n'importe quel endroit). L'objectif est de pouvoir générer en temps-réel la solution motrice la plus adéquate tout en restant biomécaniquement correct et en accord avec les données de la modélisation du comportement.

Pour lever ce verrou, nous avons recueilli différents mouvements impliquant pour le défenseur différentes zones d'intervention (plus ou moins éloignées du défenseur, fig. 5.3). Ces dernières sont nécessaires si l'on veut être en mesure de faire intervenir le défenseur sur un large spectre de déplacement possible (de très proche à très éloigné).

L'instant de déclenchement du défenseur ainsi que le moment de son éventuel rebroussement sont issus de la modélisation de la prise de décision décrite précédemment. L'idée étant d'enclencher un mouvement adéquat (c'est à dire simplement sur la droite ou la gauche dans un premier temps) et ensuite en fonction de l'évolution de la prise de décision (détection de feinte ou pas), enclencher un mouvement de changement de direction de manière réaliste (biomécaniquement correct). L'ensemble des composants nécessaires à l'animation du défenseur, à la modélisation de son comportement et aux couplages des deux est développé en C++ via le SDK (Software Development Kit) du logiciel d'animation 3D temps-réel Motionbuilder.

Afin de mener à bien cette expérimentation nous avons réalisé une nouvelle séance de capture de mouvement dans le but de collecter des déplacements "max" dans les deux directions et d'être à même de contrôler crédiblement le défenseur.



### 5.3 Verrous technologiques

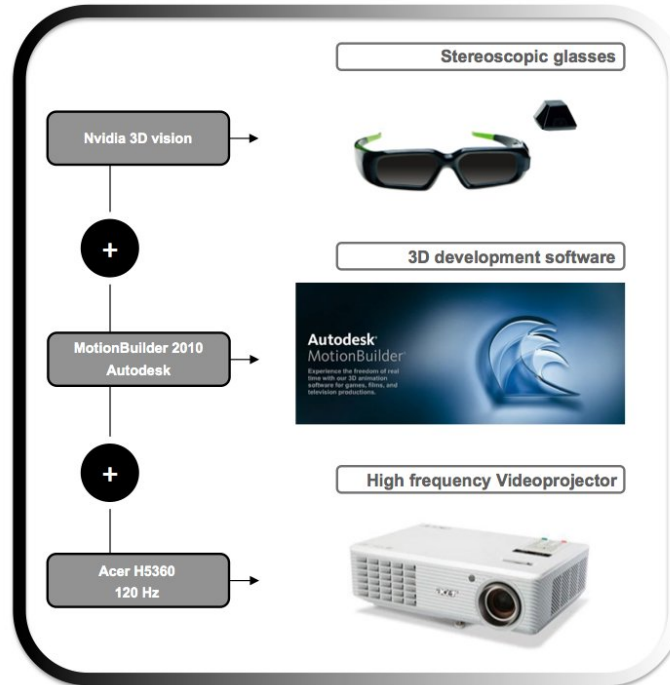


Figure 5.4 - Illustration du matériel pouvant être utilisé pour immerger un sujet dans un environnement stéréoscopique

D'un point de vue technologique, une telle application nécessite le couplage de différents outils. Le premier élément concerne l'analyse de mouvements de l'attaquant. A cette fin, nous utiliserons le système Vicon que nous connecterons en temps réel au logiciel Motionbuilder. L'analyse des données cinématiques pourra ainsi s'effectuer instantanément et permettre l'animation temps-réel du défenseur. Le second élément fait référence aux modalités de projection et de visualisation de l'environnement. Deux possibilités s'offrent à nous (i) la projection sur toile et le port de lunettes stéréoscopiques tel que nous avons pu le faire pour des expérimentations sur le coup franc au football (fig. 5.4 et 5.5) (ii) l'utilisation d'un HMD ultraportable. A ce jour les deux options sont encore en cours d'étude, l'objectif étant de trouver le meilleur compromis entre simplicité de mise en place et portabilité du système.

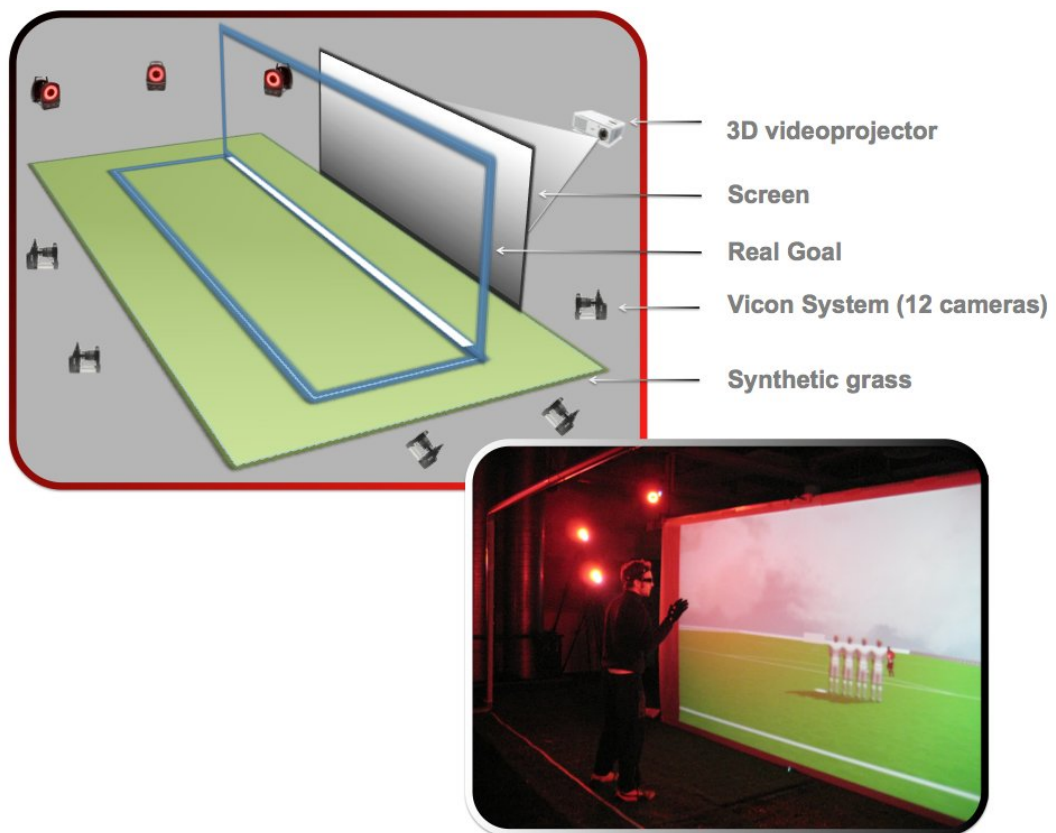


Figure 5.5 - Illustration de la mise en place d'une situation immersive de football



## Chapitre 6

### Discussion générale

Avant d'aborder la discussion générale de ce travail, rappelons la question motivant toute cette démarche : pourquoi l'expert est-il meilleur face à une tentative de feinte d'un attaquant ? C'est réellement cette volonté de vouloir comprendre les "secrets de l'expert" qui nous a guidés. Cette simple question s'est vue, par la suite, déclinée selon les sous-questions suivantes : Comment réaliser une feinte ? Comment la détecter efficacement (comme un expert) ? Comment y faire face efficacement (comme un expert) ?

Plus en détails, l'objectif était donc d'explorer les déterminants d'une action de défense experte au rugby lors d'un duel 1 vs. 1 présentant une tentative de feinte de l'attaquant. Cet objectif se déclinait en trois temps en lien avec les trois sous questions que nous nous sommes posées. Le premier envisageait la stratégie motrice de l'attaquant, et ce afin de pouvoir interpréter cette dernière en tant que source d'informations pour le défenseur. Les seconde et troisième parties envisageaient respectivement une exploration des stratégies perceptives et perceptivo-motrices des défenseurs de rugby face à des mouvements de feinte. Le but ultime étant de répondre à notre question fondamentale et de comprendre pourquoi les experts sont meilleurs dans ce type de situation.

Pour cela, nous nous sommes inspirés des méthodologies de la littérature en apportant quelques améliorations non négligeables. Notamment, nous avons justifié le fait qu'il était nécessaire de placer le sujet dans un environnement tri-dimensionnel par l'intermédiaire de la réalité virtuelle. Mais encore, nous avons montré qu'il était pertinent de coupler nos résultats avec une mesure objective des informations visuelles en utilisant l'analyse biomécanique. Enfin, et c'est là le cœur de notre travail, nous avons montré qu'une telle analyse prend toute sa légitimité sous couvert d'un fondement écologique.

Cette section "discussion générale" a pour but d'approfondir et d'étayer nos résultats. Elle doit nous permettre de comprendre et d'expliquer plus en détails pourquoi l'expert est meilleur face à un mouvement de feinte.

## 6.1 Détection des intentions de feinte et prise de décision. Ou comment expliquer en partie l'expertise

Que l'on observe un "killdeer" (fig. 1.1, sec. 1.1.1) essayant d'éloigner les prédateurs de son nid ou un défenseur de rugby tentant d'intercepter un attaquant lors d'un duel 1 vs. 1, il apparaît incontestable que toute action doit être prévue "en avance" ("ahead of time" pour la terminologie anglo-saxonne souvent employée).

Néanmoins, bien que les connaissances sur la manière dont les objets gouvernés par les lois de la physique évoluent dans l'environnement sont importantes [McLeod1996, McIntyre2001], minces sont les données relatives au mouvement humain et animal, gouverné par un système nerveux autonome. Dès lors, comment les mouvements de corps sont-ils en mesure d'informer de manière prospective un prédateur ou un défenseur de rugby, de l'action future de leur proie/adversaire ? De plus, quel est l'impact d'une intention trompeuse (feinte, diversion) sur ces profils de mouvements de corps résultants ? C'est grâce aux deux premières études de ce travail que nous pouvons maintenant répondre à ces questions. En effet, afin de comprendre comment des informations prospectives, et éventuellement trompeuses, peuvent être encapsulées dans un mouvement de corps au rugby nous avons testé deux populations de 14 participants (l'une experte, l'autre novice) dans une situation de rugby virtuel (étude 2) utilisant une méthodologie d'occultation. A partir des pourcentages de bonnes réponses des différentes conditions expérimentales nous avons pu constater qu'il y avait significativement moins de bonne réponses lorsque les sujets étaient confrontés à des DM, comparativement à des NDM. Par ailleurs, les experts présentaient également de meilleurs scores que les novices. Pour expliquer ces différences, il est une distinction indispensable à opérer entre DM et NDM. En effet, comme nous avons pu le constater au cours de l'étude 1 (section 2), le déplacement CM M/L et le mouvement de lacet du pelvis au cours d'un DM sont minimisés tandis que le déplacement M/L OF tout comme les mouvements de lacet de la tête et des épaules sont exagérés. Ceci suggère que les rugbymans exagèrent certains paramètres, dit "trompeurs" de leurs mouvements de feinte dans le but de faire croire à une fausse direction de course tout en minimisant certains autres paramètres, dit "honnêtes", plus fondamentaux dans le but de préserver une posture permettant un changement de direction soudain.

Par conséquent, un avantage certain est donné aux défenseurs s'appuyant sur les informations honnêtes plutôt que sur les informations trompeuses dans leur prise d'informations [Stuart-Fox2005]. C'est ainsi qu'en couplant l'évolution de la prise de décision du défenseur (expert ou novice) avec l'évolution des variables cinématiques interprétées prospectivement nous avons pu mettre en évidence une différence de stratégie entre experts et novices. Les experts sont à même de prendre en compte prioritairement les informations dites honnêtes comparativement aux novices qui sont plus influencés par les informations trompeuses. Par ailleurs, il est également à noter que les experts présentent une sensibilité plus importante face aux informations visuelles prospectives. En d'autres termes, ils sont en mesure de prédire correctement le devenir de l'action à partir d'une quantité moindre d'informations, et donc plus tôt.

## 6.2 Perception vs. Perception-action

Comme nous avons pu le constater tout au long de ce travail, il est primordial dans ce type de discussion d'aborder la relation perception-action. Dans le cadre des approches dites cognitives, la perception est envisagée comme une prérogative à l'action. Or, comme nous le précisait [Gibson1979] "Nous devons percevoir pour agir, mais nous devons également agir pour percevoir". L'interaction entre perception et action n'est alors pas à envisager à sens unique mais plutôt en terme de couplage, où chaque entité est au service de l'autre.

Seulement, dans les tâches de "jugement" seule la stratégie perceptive de l'observateur est sollicitée. De plus, si la stratégie visuelle est contrainte, la stratégie cérébrale ne l'est pas nécessairement. Le processus de traitement de l'information n'a donc pas besoin d'être optimisé par le sujet pour répondre de manière motrice. Or justement, l'expertise s'exprime peut-être de manière plus évidente encore par cette capacité à élaborer une stratégie efficace de traitement et de comparaison de l'information sous la contrainte et dans l'action. Ce que nous laissons supposer est illustré par la figure 6.1. Cette dernière part de l'idée que s'il existait un continuum dans les tâches demandées ; de celles nécessitant un faible couplage perception-action (tâche en jugement) à celles mettant en jeu un couplage élevé (tâches en action de plus en plus proches de la situation de match) ; alors l'expertise ne s'exprimerait peut-être pas de manière linéaire. L'expert étant peut-être d'autant plus meilleur que la tâche met en jeu l'action.

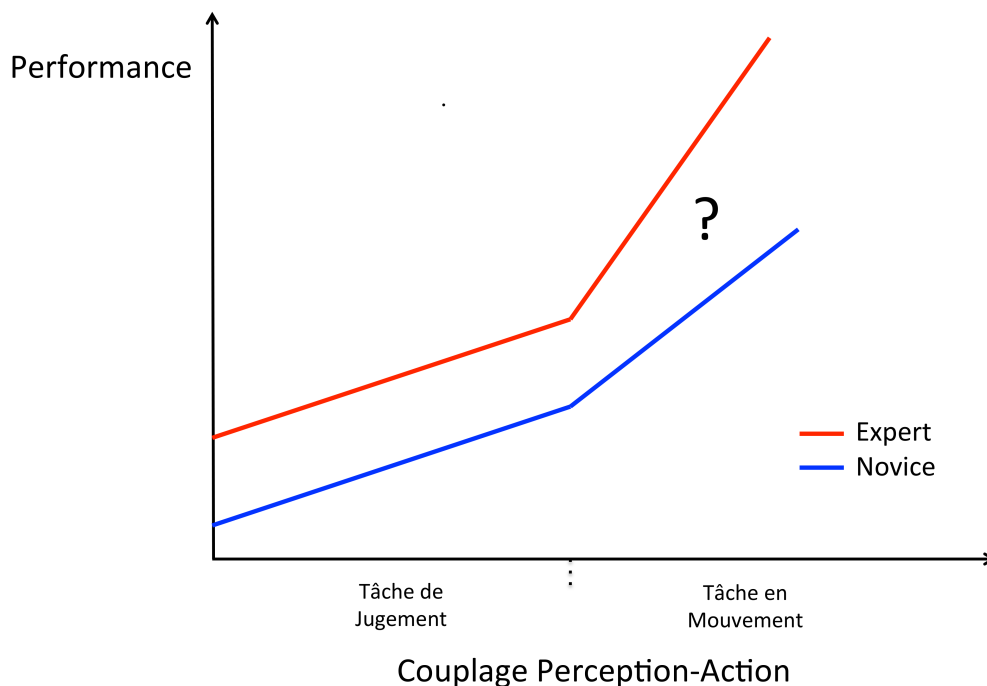


Figure 6.1 - Couplage perception-action et performance

Nombreuses sont les études sur la perception en sport présentant des limites inhérentes aux tâches de jugement. Les tâches de prédiction présentent une contrainte temporelle différente de la vraie contrainte en action. C'est le cas de notre seconde expérience ici. Alors que la prise de décision est normalement instantanée dans l'action, elle s'effectue après une phase de conscientisation durant l'expérimentation. C'est pourquoi, plusieurs études ont mesuré le temps de réponse en demandant aux sujets de répondre le plus vite possible (par ex. [Mori2002], 2002). Seulement, ce temps de réponse est à notre sens trop long et trop éloigné de la réalité, la contrainte temporelle n'est pas impliquée par la situation elle-même mais par le chronomètre. La comparaison s'effectue à nouveau à posteriori. C'est précisément cette phase de conscientisation qui peut présenter selon nous un biais très important.

Comme nous l'avons déjà dit depuis le début de notre travail, notre but n'est pas de montrer uniquement que l'expert est meilleur, mais bel et bien de comprendre pourquoi ! Montrer qu'il est en mesure de prédire le futur de l'action n'est pas une fin en soi et n'est pas le reflet de la "vraie" performance finale. La performance est un résultat (le défenseur était-il en mesure d'intercepter l'attaquant ?), unique pour chaque situation et ne peut s'exprimer que dans l'action. Si l'on s'était arrêté à l'étude 2, nous ne pourrions pas conclure, selon nous, que les experts sont meilleurs face à des DM comparativement aux novices. La seule conclusion qu'il aurait été possible de dire, toujours selon nous, est que "les experts sont meilleurs à prédire le futur d'une action face à différentes occultations" ; or en match il n'y a pas d'occultation et l'on ne demande pas de conscientiser leurs réponses aux protagonistes. Nous le répétons, mais alors pourquoi entreprendre une telle démarche.

Notre innovation, réside dans le fait que nous cherchons à comprendre pourquoi l'expert est meilleur dans ce type de situation et c'est uniquement cela qui motive cette seconde étude. Malgré les limites énoncées, ce type de méthodologie a le mérite d'isoler les facultés purement perceptives de la performance globale et par conséquent la comparaison entre la stratégie experte et novice. De plus, la pseudo-performance enregistrée (pseudo, car seulement en "jugement") peut être analysée au regard d'une problématique prospective et couplée à l'évolution de certains paramètres de l'environnement. Le véritable fond du problème d'une telle démarche, réside ainsi dans la manière dont les résultats sont utilisés, analysés et interprétés. Dans notre cas ils sont au service d'une problématique écologique visant à voir si il y aurait correspondance entre la prise de décision (certes conscientisée) des défenseurs et l'évolution de variables cinématiques. Et si c'est le cas, tel que nous l'avons montré, alors nous en sommes persuadés cela représente une avancée et une source d'intérêt.

En somme, si toute tâche ne s'effectuant pas "en action" présente des limites, elle peut néanmoins servir à isoler l'activité perceptive. La performance mesurée en "jugement" ne serait donc pas potentiellement le reflet de la performance unique et globale. En tout cas elle ne l'explique pas pleinement. Il devient donc nécessaire d'étudier la perception "en action" et sous la contrainte. C'est effectivement le seul moyen de mettre pleinement en jeu la stratégie perceptivo-motrice et par conséquent de comparer de manière pertinente l'expert et le novice. C'est en ce sens que nous avons proposé l'étude 3 de ce travail afin de compléter notre analyse sur l'expertise à l'aide de données recueillies dans une tâche nécessitant une performance identique à celle de la vraie situation de match : l'interception.

## 6.3 Couplage perception-action et expertise face à un mouvement de feinte

Au cours de notre troisième expérimentation, nous avons couplé la perception et l'action dans une tâche évaluant la vraie capacité des défenseurs à intercepter un attaquant réalisant un DM. L'objectif était de compléter nos données sur l'expertise en explorant la stratégie motrice des experts et des novices face aux mêmes mouvements de feinte. Une hypothèse, simple et quasi-évidente résidait dans le fait que la performance meilleure des experts observée lors de l'étude 2 devrait pouvoir se retrouver dans cette tâche ici en action. Néanmoins à nouveau, l'idée n'est pas simplement de témoigner de cette expertise, mais d'analyser les résultats de telle manière à pouvoir comprendre pourquoi.

Pour cela, nous avons une nouvelle fois immergé les participants dans l'environnement virtuel de rugby et face aux différents mouvements (DM et NDM) non occultés. Les participants étaient libres de bouger et d'intercepter l'attaquant virtuel comme dans une vraie situation. Les résultats ont montré différentes choses, trahissant la stratégie experte. Non seulement ces derniers attendent plus longtemps avant d'initier leur déplacement (Experts :  $267.74\text{ms} \pm 36.18$ ; Novices :  $192.71\text{ms} \pm 63.82$ ), mais ils présentent également des déplacements dans la mauvaise direction moins nombreux (Experts :  $41.87\% \pm 20.53$ ; Novices :  $14.16\% \pm 9.8$ ) et moins amples (Experts :  $11.74\text{cm} \pm 3.81$ ; Novices :  $14.99\text{cm} \pm 2.68$ ). Il est possible d'envisager un lien de cause à effet entre ces constatations. Le fait d'attendre plus longtemps place les experts dans des contextes informationnels plus fiables et plus pertinents. Il leur confère un délai entre l'initiation du mouvement et la prise de décision de se réorienter plus court, donc moins ample. Il leur confère également un délai parfois nul, d'où le nombre de déplacements dans la mauvaise direction moins nombreux.

Si l'on couple à cela la stratégie perceptive experte que nous avons pu extraire lors de la seconde expérimentation nous pouvons assumer que la performance s'exprime à tous les niveaux. A la fois indépendamment, d'un point de vue perceptif et moteur, mais également et peut-être d'autant plus, de manière imbriquée et couplée. Pour argumenter en ce sens nous nous proposons d'aborder une théorie reconnue et pertinente à notre sens pour conclure notre discussion, celle des neurones miroirs. Cette dernière présente un intérêt tout particulier car elle met en avant l'importance de la relation entre les deux phénomènes et non pas le simple statut fonctionnel et indépendant des deux phénomènes.

## 6.4 L'hypothèse des neurones miroirs

Des recherches récentes dans le domaine des neurones miroirs ont permis de justifier ce couplage évident entre la perception et l'action. En effet, il a été démontré que les neurones dans le cortex prémoteur ainsi que les neurones dans le lobe pariétal inférieur (qui sont impliqués dans l'intégration des informations sensorielles) sont activés lorsque



un singe macaque observe un autre macaque réalisant une autre action ou lorsqu'il réalise les mêmes actions ou similaires [Rizzolatti1988]. Ainsi, ce mécanisme de miroir implique que l'action doit être intrinsèquement liée à la perception [Schütz-Bosbach2007] et suggère un code commun pour la perception et l'action [Prinz1997]. En d'autres termes, l'exécution d'une action implique une association entre le modèle moteur généré et les effets sensoriels que cela entraîne [Schütz-Bosbach2007]. Dans un contexte d'interaction sociale, l'activation de ce système de miroir aiderait à interpréter/détecter ce qu'une personne environnante est en train de faire [Rizzolatti2001], ce qu'elle envisage de faire [Prinz2006] ainsi que ses intentions [Iacoboni2005].

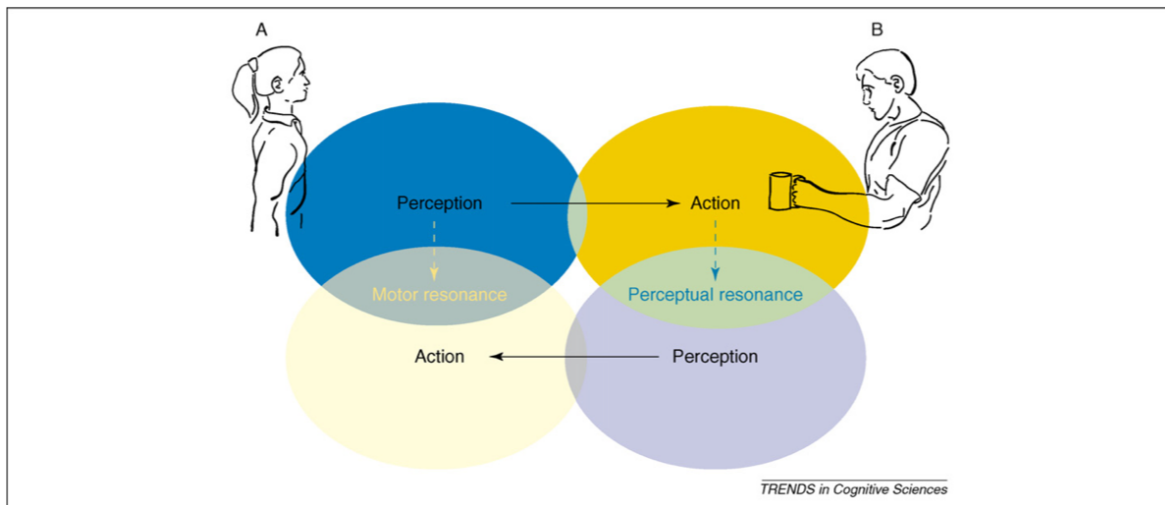


Figure 6.2 - Illustration des phénomènes de résonance motrice et sensorielle. Schéma issu du travail de Schütz-Bosbach et Prinz [Schütz-Bosbach2007]

Dans notre cas, l'appréhension du mouvement d'un attaquant au rugby via ce phénomène de miroir, permettrait à un défenseur de prédire le résultat final de la situation. En lien avec l'approche écologique, il peut ainsi être conceptualisé l'idée par laquelle les affordances impliqueraient une "résonance motrice" dans le cerveau (fig. 6.2). Ainsi, dans le sport, les différences d'anticipation pourraient être expliquées par la variation de ce niveau de «résonance motrice». En effet, comme soulignée par Calvo-Merino et coll. [Calvo-Merino2005] et Buccino et coll. [Buccino2004] l'activation des neurones miroirs moteurs est plus grande pour les actions familières plutôt qu'inconnues. En outre, il a été démontré que l'expertise motrice entraîne un niveau plus élevé d'activité neuronale dans les zones prémotrice et pariétale du cerveau pendant l'observation de mouvements de danses [Calvo-Merino2006]. Cross et coll. [Cross2006, Cross2009] ont également montré une plus grande activité neuronale dans les deux aires prémotrices et pariétales pendant l'observation de mouvements de danses chez des participants qui avaient une séance d'apprentissage de la chorégraphie comparativement à des participants sans entraînement. Ceci est en accord avec l'idée d'une "résonance motrice" plus élevée chez les experts et avec le fait que la modulation de ce potentiel de résonance peut expliquer les plus grandes compétences perceptives des experts [Aglioti2008].

Persévérant dans cette voie, Aglioti et coll. [Aglioti2008] ont suggéré que l'expertise motrice dans le sport est peut être liée à l'affinement de ces mécanismes de réso-

nances anticipatoires, qui permettrait aux experts d'interpréter les actions adverses "en avance". De plus, Casile et Giese [Casile2006] ont montré que l'apprentissage moteur a un fort impact sur la reconnaissance visuelle d'actions.

Par conséquent, et contrairement à l'interprétation de Sebanz et Shiffrar [Sebanz2009], l'expérience ne permettrait pas aux experts de construire un répertoire de représentations interne à partir duquel il pourrait comparer en ligne une situation et la reconnaître avec une autre antérieure déjà vécue. Au contraire, l'expérience du joueur aurait amélioré son niveau de «résonance motrice». Cette modulation doterait les experts d'une grande sensibilité et par conséquent d'une diminution du seuil de quantité d'informations nécessaires pour interpréter correctement le résultat final de la situation.



## Conclusion et perspectives

Ce travail est issu de plusieurs constats. Premièrement, il est admis aujourd'hui que la capacité à percevoir et à retirer les informations visuelles les plus pertinentes d'une action adverse est un facteur déterminant de la performance sportive [Shim2005] et ce d'autant plus si l'action est incertaine et faussée. Le second constat, découlant du premier, est que la tromperie est mise en jeu dans bon nombre d'interactions humaines, mais qu'elle est particulièrement déterminante et prépondérante dans le cadre des stratégies sportives. Et enfin, dernier constat, l'exploration de la performance sportive, pour des raisons méthodologiques ou théoriques, ne permet pas dans certains cas d'expliquer pourquoi un expert est meilleur qu'un novice. L'objectif de notre travail va être de comprendre ces déterminants (perceptivo-moteurs) de l'expertise lors d'un duel 1 vs. 1 en rugby présentant une tentative de feinte de l'attaquant. Nous résumons ce travail en trois questions concrètes auxquelles nous répondons : Comment réaliser une feinte de corps en rugby ? Comment la détecter ? Comment y faire face ? C'est précisément ce questionnement qui nous a guidés pour la mise en place des trois études que nous avons proposées. Chacune d'elles contribuant partiellement ou complètement à répondre à l'une ou l'autre des questions.

La première étude s'est attachée à analyser les différences biomécaniques observables entre un mouvement de simple changement de direction et un mouvement de feinte de corps en rugby [Brault2010]. Les résultats émanant de cette dernière nous ont permis de déterminer clairement deux stratégies propres à chaque type de mouvements. Les mouvements de feinte laissent ainsi apparaître deux types d'informations cinématiques. Les premières, minimisées, ont été qualifiées d' "honnêtes", car elles expriment la véritable intention de direction de l'attaquant. Les secondes, exagérées, ont-elles été qualifiées de "trompeuses", car elles reflètent une volonté de l'attaquant d'induire en erreur le défenseur. Ceci suggère que les joueurs de rugby exagèrent certains paramètres de leurs mouvements de feinte dans le but de faire croire à une fausse direction de course tout en minimisant certains autres paramètres plus fondamentaux dans le but de préserver une posture permettant un changement de direction soudain. Ces résultats

nous ont permis d'explorer par la suite le second champ d'investigation de ce projet de thèse, à savoir, une analyse perceptive et décisionnelle du duel défenseur-attaquant au rugby.

La seconde étape donc, en immersion virtuelle, met en lien les informations prospectives émanant des mouvements de feinte et la prise de décision du défenseur de rugby (expert ou novice). D'un point de vue conceptuel, nous poursuivons une démarche écologique, nous permettant de comprendre quelles informations dynamiques de l'organisation corporelle de l'opposant semblent être utilisées "online" par les participants pour détecter et faire face aux mouvements de feinte. D'un point de vue méthodologique maintenant, nous investissons un outil pointu et pertinent à notre sens : la réalité virtuelle. Le degré de présence qu'elle peut engendrer ainsi que sa qualité à pouvoir reproduire fidèlement une situation sont des atouts indispensables à l'étude du domaine perceptif en situation sportive. Les résultats témoignent d'une supériorité des experts à détecter tôt une intention de feinte de l'attaquant. Ces facultés supérieures ont deux explications. Premièrement, de part une stratégie visuelle optimisée, c'est à dire orientée principalement vers les informations les plus pertinentes et fondamentales (honnêtes) dans le mouvement de l'attaquant. Et ce, par conséquent, au détriment des informations se voulant trompeuses (exagérées). Deuxièmement, de part une sensibilité perceptive accrue des experts face à une même quantité d'informations. En d'autres termes, ils sont capables de prédire correctement la direction finale de course d'un attaquant avec moins d'informations et sont ainsi en mesure de détecter les mouvements de feinte plus tôt que les novices. Afin de compléter cette analyse, il était indispensable de proposer une situation mettant en jeu l'action, c'est l'objet de notre dernière étude.

Cette troisième et dernière étude se basait sur une méthodologie quasi-similaire, mais en immergeant les participants dans une situation complète de défense, nous permettant d'explorer la stratégie perceptivo-motrice des participants face à un mouvement de feinte. L'ensemble de ce processus nous a permis de témoigner de l'effet de l'expertise mais surtout d'expliquer pourquoi l'expert est meilleur en dressant les différences de stratégie perceptivo-motrice le caractérisant, comparativement au novice. L'expert a ainsi été démontré comme étant en mesure d'attendre plus longtemps avant d'initier un déplacement pour intercepter l'attaquant virtuel. Il est par conséquent capable de faire un nombre sensiblement inférieur d'erreurs de déplacement dans la mauvaise direction ainsi que des déplacements avec une amplitude significativement plus faible dans la mauvaise direction. Ces caractéristiques de stratégie sont au service de la performance, car elle confère à l'expert une source d'informations plus fiable car plus proche du dénouement final. Néanmoins, elles impliquent également que ce dernier soit à même de proposer un déplacement efficace, c'est à dire très rapide dans le peu de temps imparti lui restant. L'hypothèse que nous suggérons à ce sujet, est telle que le novice ne peut pas se permettre d'attendre trop longtemps car il sait consciemment ou inconsciemment que ses possibilités d'action ne lui permettront pas d'arrêter l'attaquant s'il initie son mouvement trop tard. La stratégie perceptivo-motrice est donc dépendante : (i) de l'expérience perceptive du défenseur, cette dernière lui ayant permis d'affiner sa stratégie visuelle et d'augmenter sa sensibilité à une certaine quantité d'informations (ii) mais aussi de ses propres possibilités d'action intrinsèques.

En guise d'ouverture, nous souhaiterions noter que bien qu'une situation fortement contrainte ne peut être régulée qu'écologiquement, les informations cognitives inhé-

rentes à celle-ci ne sont pas sans jouer un rôle. En effet, comme nous l'avons déjà mentionné dans la discussion de l'étude 3, les informations cognitives doivent pouvoir trouver leur place. Certes, ce n'est pas ce que nous voulions démontrer ici, notre centration s'effectuait bien sur les derniers instants de l'action, indéniablement régulés de manière prospective. Cela ne vient en aucun cas remettre en question nos résultats. Nous avons été en mesure de témoigner d'un couplage entre la prise de décision et l'évolution de variables cinématiques. Cela n'est pas anodin. Néanmoins, nous ne pouvons pas nier le fait que la situation que nous proposons n'est pas totalement contextualisée et ne prend pas en compte, par exemple, l'expérience de match et sa masse de données associées. Il existe une source de pré-informations cognitives ("pré-informations" dans le sens où elles sont collectées avant que l'action devienne trop critique). Cette source d'informations peut englober l'historique des duels que le défenseur a eu au cours de ce match (ou d'autre match) avec ce même attaquant, ou tout simplement le pourcentage de chance en général qu'un attaquant réalise une feinte. Cette dernière suggestion fait référence aux "préjugés" qu'un pratiquant expert peut avoir au regard de ses années de pratique. N'y a-t-il pas finalement de manière générale, plus de chance que l'attaquant tente une feinte ? C'est ce qu'avait montré Cañal Bruland et Schmidt [Cañal-Bruland2009] dans leur étude : les gardiens de but de handball experts, comparativement aux joueurs de champs, semblaient plus influencés par les préjugés et par le fait qu'il y a plus souvent des mouvements de feinte lors des penalty. Malgré tout, pour être performant, l'objectif va être de s'approprier des informations les plus fiables possibles, c'est à dire les plus adaptées à la situation unique qu'un participant vit avec l'environnement. Pour cela, il semble, comme nous l'avons vu, de bon ton d'initier son mouvement le plus tard possible afin d'être en mesure de profiter des informations écologiques les plus tardives et donc les plus pertinentes.

L'idée que nous voulions soulever ici, est qu'il y aurait probablement une persistance des pré-informations cognitives ainsi qu'un moment clé à partir duquel le mode de régulation devient majoritairement écologique. L'expertise doit probablement pouvoir s'exprimer lors de ce passage d'une source de "pré-informations" à une source d'informations obligatoirement prospectives, "en ligne", lorsque la contrainte devient trop forte. Dès lors chez l'expert, quel rôle jouent ces informations de premier ordre ? et quelle persistance exercent-elles ? Voici, entre autre, quelques questions que nous souhaiterions aborder dans de futurs travaux, afin d'explorer toujours et encore plus la complexité de l'expertise.



# Apport au domaine

Selon nous, notre travail présente des apports à différents niveaux : méthodologique, sportif et théorique.

Comme nous avons pu le voir, peu de travaux ont réussi à immerger un sportif en respectant sa gestuelle, pourtant directement liée à sa performance. Le travail présenté ici, permet de placer le défenseur dans une situation sollicitant pleinement les capacités perceptivo-motrices. L'apport est tel qu'il nous est possible d'extraire des données d'une situation standardisée, contrôlable et très proche du réel. Ce qui nous confère un accès à des données de qualités et couramment difficiles d'accès. Par ailleurs, grâce au simulateur que nous proposons, nous serons en mesure de placer un vrai attaquant face à un défenseur interactif. Ce simulateur présente un atout méthodologique, car il montre comment il est possible d'extraire les qualités perceptivo-motrices de protagonistes sportifs et comment il est possible d'intégrer celles-ci dans un nouvel outils. Ce dernier permettra non seulement d'explorer de nouvelles problématiques de recherche mais également et surtout de proposer un outil d'entraînement pour les clubs. L'apport pour le domaine sportif est très aisément identifiable ici. Il sera en effet possible d'entraîner des attaquants à réaliser des mouvements de feinte face à un défenseur paramétrable (du novice à l'expert).

D'un point de vue théorique, notre travail présente un apport car il fournit un cadre de travail ré-investissable dans d'autres activités physiques et sportives. Nous avons, à ce sujet, déjà investigué le domaine de la boxe au cour d'un Master 1 que j'ai encadré au sein du laboratoire M2S (Léo Benouaich). Les résultats allaient dans le même sens, en montrant un mouvement des épaules exagéré lors des mouvements de feinte efficaces (fig. 6.3). Ainsi, si le rugby fut un objet d'étude à part entière il a également constitué, selon nous, un support d'étude au service de l'exploration de la notion de tromperie au sens large. Nous en sommes persuadés ; un prédateur animal, un joueur de poker, un défenseur de basket... se doivent de présenter des stratégies quasi-similaires pour détecter l'intention de feinte chez l'opposant. Nous pourrions faire le lien ici avec





Figure 6.3 - Séance de capture de mouvements de feinte en Boxe Française

de célèbres illusions d'optiques ou encore de célèbres expérimentations. Prenons pour exemple celle de Simons et Chabris [Simons1999] consistant à compter le nombre de passes que se font un groupe de personnes (fig. 6.4) alors qu'un gorille passe au milieu de la scène sans que l'observateur s'en rende compte. La tromperie est telle, que le nombre exagéré de ballon à suivre ainsi que le nombre exagéré de personne dans un si petit périmètre empêche de voir la supercherie (le gorille passant au milieu du groupe).



Figure 6.4 - Experience de Simons et Chabris [Simons1999]

# Bibliographie

- [Abernethy1984] Abernethy, B. et Russell, D. *Advance cue utilisation by skilled cricket batsmen*. Australian Journal of Science and Medicine in Sport, vol. 16, n° 2, pages 2–10, 1984.
- [Abernethy1987a] Abernethy, B. *Anticipation in sport : a review*. Physical education review, vol. 10, n° 1, pages 5–16, 1987.
- [Abernethy1987b] Abernethy, B. et Russell, D. *The relationship between expertise and visual search strategy in a racquet sport*. Human movement science, vol. 3, pages 283–319, 1987.
- [Abernethy1988] Abernethy, B. *Dual-task methodology and motor skills research : Some applications and methodological constraints*. Journal of Human Movement Study, vol. 14, pages 101–132, 1988.
- [Abernethy1990a] Abernethy, B. *Anticipation in squash : Differences in advance cue utilization between expert and novice players*. Journal of Sports Sciences, vol. 8, n° 1, pages 17–34, 1990.
- [Abernethy1990b] Abernethy, B. *Expertise, visual search and information pick-up in squash*. Perception, vol. 19, pages 63–77, 1990.
- [Abernethy1993a] Abernethy, B. *Searching for the minimal essential information for skilled perception and action*. Psychological Research, vol. 55, pages 131–138, 1993.
- [Abernethy1993b] Abernethy, B., Thomas, K. et Thomas, J. *Strategies for improving understanding of motor expertise [or mistakes we have made and things we have learned !!]*. Advances in psychology, vol. 102, pages 317–356, 1993.
- [Abernethy2001] Abernethy, B., Gill, D., Parks, S. et Packer, S. *Expertise and the perception of kinematic and situational probability information*. Perception, vol. 30, pages 233–252, 2001.
- [Abernethy2007] Abernethy, B. et Zawi, K. *Pickup of essential kinematics underpins expert perception of movement patterns*. Journal of motor behavior, vol. 39, n° 5, pages 353–367, 2007.
- [Aglioti2008] Aglioti, S., Cesari, P., Romani, M., Urgesi, C. et al. *Action anti-cipation and motor resonance in elite basketball players*. Nature Neuroscience, vol. 11, n° 9, pages 1109–1116, 2008.

- [Ahlström1997] Ahlström, V., Blake, R. et Ahlström, U. *Perception of biological motion*. Perception, 1997.
- [Araújo2005] Araújo, D., Davids, K. et Serpa, S. *An ecological approach to expertise effects in decision-making in a simulated sailing regatta*. Psychology of Sport and Exercise, vol. 6, n° 6, pages 671–692, 2005.
- [Barclay1978] Barclay, C., Cutting, J. et Kozlowski, L. *Temporal and spatial factors in gait perception that influence gender recognition*. Percept Psychophys, vol. 23, n° 2, pages 145–52, 1978.
- [Bard1976] Bard, C. et Fleury, M. *Analysis of visual search activity during sport problem situations*. Journal of Human Movement Studies, vol. 3, pages 214–222, 1976.
- [Bard1981] Bard, C. et Fleury, M. *Considering eye movement as a predictor of attainment*. Vision and sport, pages 28–41, 1981.
- [Barfield1993] Barfield, W. et Weghorst, S. *The sense of presence within virtual environments : A conceptual framework*. Proceedings of the Fifth International Conference on Human-Computer Interaction, vol. 2, pages 699–704, 1993.
- [Barfield1998] Barfield, W. *The biomechanics of kicking in soccer*. Clinics in Sports Medicine, vol. 17, n° 4, pages 711–728, 1998.
- [Beardsworth1981] Beardsworth, T. et Buckner, T. *The ability to recognize oneself from a video recording of one's movements without seeing one's body*. Bulletin of the Psychonomic Society, 1981.
- [Bernstein1967] Bernstein, N. *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford, New York : Pergamon Press, 1967.
- [Berthoz1997] Berthoz, A. *Le sens du mouvement*. O. Jacob, Paris, 1997.
- [Bideau2003] Bideau, B., Kulpa, R., Menardais, S., Fradet, L., Multon, F., Delamarche, P. et Arnaldi, B. *Real Handball Goalkeeper vs. Virtual Handball Thrower*. Presence : Teleoperators & Virtual Environments, vol. 12, n° 4, pages 411–421, 2003.
- [Bideau2004] Bideau, B., Multon, F., Kulpa, R., Fradet, L., Arnaldi, B. et Delamarche, P. *Using virtual reality to analyze links between handball thrower kinematics and goalkeeper's reactions*. Neuroscience Letters, vol. 372, n° 1-2, pages 119–122, 2004.
- [Bideau2010] Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F. et Craig, C. *Using virtual reality to analyze sports performance*. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 30, n° 2, pages 14–21, 2010.
- [Biguer1982] Biguer, B., Jeannerod, M. et Prablanc, C. *The coordination of eye, head, and arm movements during reaching at a single visual target*. Experimental Brain Research, vol. 46, n° 2, pages 301–304, 1982.

- [Bobick1996] Bobick, A. et Davis, J. *An appearance-based representation of action*. In Pattern Recognition, 1996., Proceedings of the 13th International Conference on, volume 1, pages 307–312. IEEE, 1996.
- [Bond Jr1992] Bond Jr, C., Omar, A., Pitre, U., Lashley, B., Skaggs, L. et Kirk, C. *Fishy-looking liars : deception judgment from expectancy violation*. J Pers Soc Psychol, vol. 63, n° 6, pages 969–77, 1992.
- [Bootsma1992] Bootsma, R. J. et Peper, C. L. E. *Chapter 12 Predictive Visual Information Sources for the Regulation of Action with Special Emphasis on Catching and Hitting*. In Proteau, L. et Elliott, D., éditeurs, Vision and Motor Control, volume 85 of *Advances in Psychology*, pages 285 – 314. North-Holland, 1992.
- [Bootsma2003] Bootsma, R. et Craig, C. *Information used in detecting upcoming collision*. PERCEPTION-LONDON-, vol. 32, n° 5, pages 525–544, 2003.
- [Brault2010] Brault, S., Bideau, B., Craig, C. et Kulpa, R. *Balancing deceit and disguise : How to successfully fool the defender in a 1 vs. 1 situation in rugby*. Human movement science, vol. 29, n° 3, pages 412–425, 2010.
- [Buccino2004] Buccino, G., Lui, F., Canessa, N., Patteri, I., Lagravinese, G., Benuzzi, F., Porro, C. et Rizzolatti, G. *Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics : An fMRI study*. Journal of Cognitive Neuroscience, vol. 16, n° 1, pages 114–126, 2004.
- [Calvo-Merino2005] Calvo-Merino, B., Glaser, D., Grezes, J., Passingham, R. et Haggard, P. *Action observation and acquired motor skills : An fMRI study with expert dancers*. Cerebral cortex, vol. 15, n° 8, page 1243, 2005.
- [Calvo-Merino2006] Calvo-Merino, B., Grèzes, J., Glaser, D., Passingham, R. et Haggard, P. *Seeing or doing ? Influence of visual and motor familiarity in action observation*. Current Biology, vol. 16, n° 19, pages 1905–1910, 2006.
- [Cañal-Bruland2009] Cañal-Bruland, R. et Schmidt, M. *Response bias in judging deceptive movements*. Acta psychologica, vol. 130, n° 3, pages 235–240, 2009.
- [Cañal-Bruland2010] Cañal-Bruland, R., van der Kamp, J. et van Kesteren, J. *An examination of motor and perceptual contributions to the recognition of deception from others' actions*. Human movement science, vol. 29, n° 1, pages 94–102, 2010.
- [Capin1997] Capin, T., Noser, H., Thalmann, D., Pandzic, I. et Thalmann, N. *Virtual human representation and communication in VLNet*. IEEE Computer Graphics and Applications, pages 42–53, 1997.
- [Casile2006] Casile, A. et Giese, M. *Nonvisual motor training influences biological motion perception*. Current Biology, vol. 16, n° 1, pages 69–74, 2006.

- [Cedras1995] Cedras, C. et Shah, M. *Motion-based recognition a survey*. Image and Vision Computing, vol. 13, n° 2, pages 129–155, 1995.
- [Cornus1999] Cornus, S., Montagne, G. et Laurent, M. *Perception of a stepping-across affordance*. Ecological Psychology, vol. 11, n° 4, pages 249–268, 1999.
- [Correia2011] Correia, V., Araujo, D., Craig, C. et Passos, P. *Prospective information for pass decisional behavior in rugby union*. Human Movement Science, vol. 30, n° 5, pages 984 – 997, 2011.  
<ce :title>EWOMS 2009 : The European Workshop on Movement Science</ce :title>.
- [Craig2006] Craig, C., Berton, E., Rao, G., Fernandez, L. et Bootsma, R. *Judging where a ball will go : the case of curved free kicks in football*. Naturwissenschaften, vol. 93, n° 2, pages 97–101, 2006.
- [Crane1997] Crane, B. et Demer, J. *Human gaze stabilization during natural activities : translation, rotation, magnification, and target distance effects*. Journal of neurophysiology, vol. 78, n° 4, page 2129, 1997.
- [Cross2006] Cross, E., Hamilton, A. et Grafton, S. *Building a motor simulation de novo : observation of dance by dancers*. Neuroimage, vol. 31, n° 3, pages 1257–1267, 2006.
- [Cross2009] Cross, E., Kraemer, D., Hamilton, A., Kelley, W. et Grafton, S. *Sensitivity of the action observation network to physical and observational learning*. Cerebral Cortex, vol. 19, n° 2, page 315, 2009.
- [Cutting1977] Cutting, J. et Kozlowski, L. *Recognizing friends by their walk : Gait perception without familiarity cues*. Bulletin of the Psychonomic Society, vol. 9, n° 5, pages 353–356, 1977.
- [Debanne2003] Debanne, T. *Activité perceptive et décisionnelle du gardien de but de handball lors de la parade : les savoirs d'experts*. Staps, vol. 62, n° 2003/3, pages 43–58, 2003.
- [Dessing2010] Dessing, J. et Craig, C. *Bending It Like Beckham : How to Visually Fool the Goalkeeper*. PloS one, vol. 5, n° 10, page e13161, 2010.
- [Dittrich1996] Dittrich, W., Troscianko, T., Lea, S. et Morgan, D. *Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance*. Perception-London, vol. 25, n° 6, pages 727–738, 1996.
- [Ekman1999] Ekman, P., O'Sullivan, M. et Frank, M. *A few can catch a liar*. Psychological Science, vol. 10, n° 3, page 263, 1999.
- [Ellis1991] Ellis, R. *Nature and Origin of Virtual Environments : A Bibliographic Essay*. Computing Systems in Engineering, vol. 2, n° 4, pages 321–347, 1991.
- [Fajen2009] Fajen, B., Riley, M. et Turvey, M. *Information, affordances, and the control of action in sport*. International Journal of Sport Psychology, vol. 40, n° 1, pages 79–107, 2009.

- [Fitch1978] Fitch, H. et Turvey, M. *On the control of activity : Some remarks from an ecological point of view*. Psychology of motor behavior and sport, pages 3–35, 1978.
- [Flanders1999] Flanders, M., Daghestani, L. et Berthoz, A. *Reaching beyond reach*. Experimental Brain Research, vol. 126, n° 1, pages 19–30, 1999.
- [Fleisig1996] Fleisig, G. et Escamilla, R. *Biomechanics of the elbow in the throwing athlete*. Oper Tech Sports Med, vol. 4, pages 62–68, 1996.
- [French1987] French, K. et Thomas, J. *The relation of knowledge development to children's basketball performance*. Journal of sport psychology, 1987.
- [Fuchs2000] Fuchs, P., Moreau, G. et Papin, J. *Le traité de la réalité virtuelle*. Les presses de l'école des mines de Paris, 2000.
- [Gaggioli2001] Gaggioli, A. et Breining, R. *Perception and Cognition in Immersive Virtual Reality*. Communications Through Virtual Technologies : Identity, Community and Technology in the Communication Age, 2001.
- [Gibson1958] Gibson, J. *VISUALLY CONTROLLED LOCOMOTION AND VISUAL ORIENTATION IN ANIMALS\**. British Journal of Psychology, vol. 49, n° 3, pages 182–194, 1958.
- [Gibson1979] Gibson, J. *The Ecological Approach to Perception*. Boston : Houghton Mifflin, 1979.
- [Giese2003] Giese, M. et Poggio, T. *Neural mechanisms for the recognition of biological movements*. Nature Reviews Neuroscience, vol. 4, n° 3, pages 179–192, 2003.
- [Goddard1992] Goddard, N. *The perception of articulated motion : recognizing moving light displays*. Rapport technique, DTIC Document, 1992.
- [Gordon1995] Gordon, C., Fletcher, W., Melvill Jones, G. et Block, E. *Adaptive plasticity in the control of locomotor trajectory*. Experimental brain research, vol. 102, n° 3, pages 540–545, 1995.
- [Goulet1989] Goulet, C., Bard, C. et Fleury, M. *Expertise differences in preparing to return a tennis serve : A visual information processing approach*. Journal of Sport and Exercise Psychology, vol. 11, n° 4, pages 382–98, 1989.
- [Grasso1996] Grasso, R., Glasauer, S., Takei, Y. et Berthoz, A. *The predictive brain : anticipatory control of head direction for the steering of locomotion*. Neuroreport, vol. 7, n° 6, page 1170, 1996.
- [Grasso1998] Grasso, R., Prévost, P., Ivanenko, Y. et Berthoz, A. *Eye-head coordination for the steering of locomotion in humans : an anticipatory synergy*. Neuroscience Letters, vol. 253, n° 2, pages 115–118, 1998.
- [Gregor2008] Gregor, R. *Interdisciplinary Vertical Integration : The Future of Biomechanics*. QUEST, vol. 1, n° 60, pages 31–44, 2008.

- [Hand1994] Hand, C. *Other Faces of Virtual Reality*. Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality : Models, Systems, and Applications : First International Conference, Mhvr'94 Moscow, Russia, September 14-16, 1994 Selected Papers, 1994.
- [Handford1997] Handford, C., Davids, K., Bennett, S. et Button, C. *Skill acquisition in sport : Some applications of an evolving practice ecology*. Journal of Sports Sciences, vol. 15, n° 6, pages 621–640, 1997.
- [Hase1999] Hase, K. et Stein, R. *Turning strategies during human walking*. Journal of neurophysiology, vol. 81, n° 6, page 2914, 1999.
- [Helsen1999] Helsen, W. et Starkes, J. *A multidimensional approach to skilled perception and performance in sport*. Applied Cognitive Psychology, vol. 13, n° 1, pages 1–27, 1999.
- [Hendrix1994] Hendrix, C. *Exploratory Studies on the Sense of Presence in Virtual Environments as a Function of Visual and Auditory Display Parameters*. Thèse, University of Washington, 1994.
- [Hill2000] Hill, H. et Pollick, F. *Exaggerating temporal differences enhances recognition of individuals from point light displays*. Psychological Science, vol. 11, n° 3, page 223, 2000.
- [Hill2001] Hill, H. et Johnston, A. *Categorizing sex and identity from the biological motion of faces*. Current Biology, vol. 11, n° 11, pages 880–885, 2001.
- [Hirasaki1999] Hirasaki, E., Moore, S., Raphan, T. et Cohen, B. *Effects of walking velocity on vertical head and body movements during locomotion*. Experimental brain research, vol. 127, n° 2, pages 117–130, 1999.
- [Hirashima1999] Hirashima, S. *Recognition on the gender of point-light walkers moving in different directions*. Shinrigaku kenkyu : The Japanese journal of psychology, vol. 70, n° 2, page 149, 1999.
- [Hodgins1998] Hodgins, J., O'Brien, J. et Tumblin, J. *Perception of human motion with different geometric models*. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 4, n° 4, pages 307–316, 1998.
- [Hollands2001] Hollands, M., Sorensen, K. et Patla, A. *Effects of head immobilization on the coordination and control of head and body reorientation and translation during steering*. Experimental brain research, vol. 140, n° 2, pages 223–233, 2001.
- [Hommel2001] Hommel, B., Musseler, J., Aschersleben, G. et Prinz, W. *The theory of event coding (TEC) : A framework for perception and action planning*. Behavioral and Brain Sciences, vol. 24, n° 5, pages 849–877, 2001.
- [Horak1986] Horak, F. et Nashner, L. *Central programming of postural movements : adaptation to altered support-surface configurations*. Journal of Neurophysiology, vol. 55, n° 6, page 1369, 1986.

- [Hyman1953] Hyman, R. *Stimulus information as a determinant of reaction time*. Journal of Experimental Psychology, vol. 45, n° 3, page 188, 1953.
- [Iacoboni2005] Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. et Rizzolatti, G. *Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system*. PLoS biology, vol. 3, n° 3, page e79, 2005.
- [Imai2001] Imai, T., Moore, S., Raphan, T. et Cohen, B. *Interaction of the body, head, and eyes during walking and turning*. Experimental brain research, vol. 136, n° 1, pages 1–18, 2001.
- [Inman1966] Inman, V. *Human locomotion*. Canadian Medical Association Journal, vol. 94, n° 20, page 1047, 1966.
- [Jackson2006] Jackson, R., Warren, S. et Abernethy, B. *Anticipation skill and susceptibility to deceptive movement*. Acta Psychologica, vol. 123, n° 3, pages 355–371, 2006.
- [Johansson1973] Johansson, G. *Visual perception of biological motion and a model for its analysis*. Perception and Psychophysics, vol. 14, pages 201–211, 1973.
- [Jokisch2006] Jokisch, D., Daum, I. et Troje, N. *Self recognition versus recognition of others by biological motion : Viewpoint-dependent effects*. Perception, vol. 35, pages 911–920, 2006.
- [Jones1978] Jones, C. et Miles, T. *Use of advance cues in predicting the flight of a lawn tennis ball*. Journal of human movement studies, vol. 4, pages 231–235, 1978.
- [Kornblum1973] Kornblum, S. *Sequential effects in choice reaction time : A tutorial review*. Attention and performance IV, pages 259–288, 1973.
- [Kozlowski1977] Kozlowski, L. et Cutting, J. *Recognizing the sex of a walker from a dynamic point-light display*. Attention, Perception, & Psychophysics, vol. 21, n° 6, pages 575–580, 1977.
- [Lange2006] Lange, J., Georg, K. et Lappe, M. *Visual perception of biological motion by form : A template-matching analysis*. Journal of Vision, vol. 6, n° 8, 2006.
- [Le Moigne1999] Le Moigne, J. *La modélisation des systèmes complexes*, volume 178. Dunod Paris, 1999.
- [Lee1976] Lee, D. *A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision*. Perception, vol. 5, n° 4, pages 437–459, 1976.
- [Lee1981] Lee, D. et Reddish, P. *Plummeting gannets : A paradigm of ecological optics*. Nature, 1981.
- [Lee1983] Lee, D. N., Young, D. S., Reddish, P. E., Lough, S. et Clayton, T. M. H. *Visual timing in hitting an accelerating ball*. The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, vol. 35, n° 2, pages 333–346, 1983.



- [Lee1998] Lee, D. *Guiding movement by coupling taus*. Ecological psychology, vol. 10, n° 3-4, pages 221–250, 1998.
- [Mackinnon1993] Mackinnon, C. et Winter, D. *Control of whole body balance in the frontal plane during human walking*. Journal of Biomechanics, vol. 26, n° 6, pages 633–644, 1993.
- [Mackworth1967] Mackworth, N. et Morandi, A. *The gaze selects informative details within pictures*. Perception and Psychophysics, vol. 2, n° 11, pages 547–551, 1967.
- [Macquet2009] Macquet, A. *Recognition within the decision-making process : A case study of expert volleyball players*. Journal of Applied Sport Psychology, vol. 21, n° 1, pages 64–79, 2009.
- [Mathias1986] Mathias, S., Nayak, U. et Isaacs, B. *Balance in elderly patients : the " get-up and go " test*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, vol. 67, n° 6, page 387, 1986.
- [Maurer1997] Maurer, C., Kimmig, H., Trefzer, A. et Mergner, T. *Visual object localization through vestibular and neck inputs. 1 : Localization with respect to space and relative to the head and trunk mid-sagittal planes*. Journal of vestibular research : equilibrium & orientation, vol. 7, n° 2-3, page 119, 1997.
- [Mazyn2004] Mazyn, L., Lenoir, M., Montagne, G. et Savelsbergh, G. *The contribution of stereo vision to one-handed catching*. Experimental Brain Research, vol. 157, n° 3, pages 383–390, 2004.
- [McIntyre2001] McIntyre, J., Zago, M., Berthoz, A. et Lacquaniti, F. *Does the brain model Newton's laws ?* Nature Neuroscience, vol. 4, n° 7, pages 693–694, 2001.
- [McLeod1996] McLeod, P. et Dienes, Z. *Do fielders know where to go to catch the ball or only how to get there ?*. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, vol. 22, n° 3, page 531, 1996.
- [McNaughton1996] McNaughton, B., Barnes, C., Gerrard, J., Gothard, K., Jung, M., Knierim, J., Kudrimoti, H., Qin, Y., Skaggs, W., Suster, M. et al. *Deciphering the hippocampal polyglot : the hippocampus as a path integration system*. Journal of Experimental Biology, vol. 199, n° 1, page 173, 1996.
- [Meissner2002] Meissner, C. et Kassin, S. *"He's guilty !" : Investigator bias in judgments of truth and deception*. Law and Human Behavior, vol. 26, n° 5, pages 469–480, 2002.
- [Mergner1998] Mergner, T. et Rosemeier, T. *Interaction of vestibular, somato-sensory and visual signals for postural control and motion perception under terrestrial and microgravity conditions—a conceptual model*. Brain Research Reviews, vol. 28, n° 1-2, pages 118–135, 1998.
- [Montepare1988] Montepare, J. et Zebrowitz-McArthur, L. *Impressions of people created by age-related qualities of their gaits*. Journal of Personality and Social Psychology, vol. 55, n° 4, page 547, 1988.

- [Moore1999] Moore, S., Hirasaki, E., Cohen, B. et Raphan, T. *Effect of viewing distance on the generation of vertical eye movements during locomotion*. Experimental brain research, vol. 129, n° 3, pages 347–361, 1999.
- [Mori2002] Mori, S., Ohtani, Y. et Imanaka, K. *Reaction times and anticipatory skills of karate athletes*. Human Movement Science, vol. 21, n° 2, pages 213–230, 2002.
- [Mouchet2005] Mouchet, A. *Modélisation de la complexité des décisions tactiques en rugby*. E-Journal de la Recherche sur l'Intervention en Éducation Physique et Sport, vol. 7, pages 3–19, 2005.
- [Orendurff2006] Orendurff, M., Segal, A., Berge, J., Flick, K., Spanier, D. et Klute, G. *The kinematics and kinetics of turning : limb asymmetries associated with walking a circular path*. Gait & posture, vol. 23, n° 1, pages 106–111, 2006.
- [Panchuk2006] Panchuk, D. et Vickers, J. *Gaze behaviors of goaltenders under spatial-temporal constraints*. Human movement science, vol. 25, n° 6, pages 733–752, 2006.
- [Papin1984] Papin, J., METGES, P. et AMALBERTI, R. *Use of NAC eye mark by radiologists*. In Theoretical and applied aspects of eye movement research : selected/edited proceedings of the Second European Conference on Eye Movements, Nottingham, England, 19-23 September, 1983, volume 22, page 323. North Holland, 1984.
- [Passos2008] Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., Milho, J. et Serpa, S. *Information-governing dynamics of attacker-defender interactions in youth rugby union*. Online''''€ 216'i/£ 1680/US\$2703 (Plus tax where applicable) An institutional subscription to the print edition includes free access for any number of concurrent users across a local area network. Individual members of the British Association of Sport and Exercise Sciences (BASES) and the International, page 1421, 2008.
- [Patla1991] Patla, A., Prentice, S., Robinson, C. et Neufeld, J. *Visual control of locomotion : Strategies for changing direction and for going over obstacles*. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, vol. 17, n° 3, page 603, 1991.
- [Patla1999] Patla, A., Adkin, A. et Ballard, T. *Online steering : coordination and control of body center of mass, head and body reorientation*. Experimental brain research, vol. 129, n° 4, pages 629–634, 1999.
- [Pepping1997] Pepping, G. et Li, F. *Perceiving action boundaries in the volleyball block*. Studies in perception and action IV, pages 137–140, 1997.
- [Pepping2000] Pepping, G. et Li, F. *Changing action capabilities and the perception of affordances*. Journal of Human Movement Studies, vol. 39, n° 2, page 115, 2000.

- [Petit2008] Petit, J. et Ripoll, H. *Scene perception and decision making in sport simulation : a masked priming investigation*. International Journal of Sport Psychology, vol. 39, n° 1, pages 1–19, 2008.
- [Pollick2001] Pollick, F., Paterson, H., Bruderlin, A. et Sanford, A. *Perceiving affect from arm movement*. Cognition, vol. 82, n° 2, pages B51–B61, 2001.
- [Pollick2002] Pollick, F., Lestou, V., Ryu, J. et Cho, S. *Estimating the efficiency of recognizing gender and affect from biological motion*. Vision Research, vol. 42, n° 20, pages 2345–2355, 2002.
- [Pozzo1990] Pozzo, T., Berthoz, A. et Lefort, L. *Head stabilization during various locomotor tasks in humans. I. Normal subjects*. Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation cerebrale, vol. 82, n° 1, page 97, 1990.
- [Pozzo1991] Pozzo, T., Berthoz, A., Lefort, L. et Vitte, E. *Head stabilization during various locomotor tasks in humans*. Experimental brain research, vol. 85, n° 1, pages 208–217, 1991.
- [Pozzo1995] Pozzo, T., Levik, Y. et Berthoz, A. *Head and trunk movements in the frontal plane during complex dynamic equilibrium tasks in humans*. Experimental brain research, vol. 106, n° 2, pages 327–338, 1995.
- [Prévost2003] Prévost, P. *Stratégies d'anticipation et rôle du contexte dans les tâches visio-motrices*. Thèse, Orsay, université Paris XI-Sud, 2003.
- [Prinz1997] Prinz, W. *Perception and action planning*. European journal of cognitive psychology, vol. 9, n° 2, pages 129–154, 1997.
- [Prinz2006] Prinz, W. *POSITION PAPERS-What re-enactment earns us*. Cortex, vol. 42, n° 4, pages 515–517, 2006.
- [Psocka1995] Psocka, J. *Immersive training systems : Virtual reality and education and training*. Instructional Science, vol. 23, n° 5, pages 405–431, 1995.
- [Ranganathan2007] Ranganathan, R. et Carlton, L. *Perception-action coupling and anticipatory performance in baseball batting*. Journal of motor behavior, vol. 39, n° 5, pages 369–380, 2007.
- [Raymakers2005] Raymakers, J., Samson, M. et Verhaar, H. *The assessment of body sway and the choice of the stability parameter (s)*. Gait & posture, vol. 21, n° 1, pages 48–58, 2005.
- [Regan1993] Regan, D. et Hamstra, S. *Dissociation of discrimination thresholds for time to contact and for rate of angular expansion*. Vision Research, vol. 33, n° 4, pages 447–462, 1993.
- [Renshaw2000] Renshaw, I. et Fairweather, M. *Cricket bowling deliveries and the discrimination ability of professional and amateur batters*. Journal of Sports Sciences, vol. 18, n° 12, pages 951–957, 2000.

- [Ripoll1995] Ripoll, H., Kerlirzin, Y., Stein, J. et Reine, B. *Analysis of information processing, decision making, and visual strategies in complex problem solving sport situations*. Human Movement Science, vol. 14, n° 3, pages 325–349, 1995.
- [Ripoll1997] Ripoll, H. et Latiri, I. *Effect of expertise in a fast ball game on coincident-timing*. Journal of Sport Sciences, vol. 15, n° 6, pages 576–580, 1997.
- [Rizzolatti1988] Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G. et Matelli, M. *Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey*. Experimental Brain Research, vol. 71, n° 3, pages 491–507, 1988.
- [Rizzolatti2001] Rizzolatti, G., Fogassi, L. et Gallese, V. *Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action*. Nature Reviews Neuroscience, vol. 2, n° 9, pages 661–670, 2001.
- [Robertson1999] Robertson, R., Rolls, E., Georges-François, P. et Panzeri, S. *Head direction cells in the primate pre-subiculum*. Hippocampus, vol. 9, n° 3, pages 206–219, 1999.
- [Runeson1981] Runeson, S. et Frykholm, G. *Visual perception of lifted weight*. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, vol. 7, n° 4, page 733, 1981.
- [Runeson1983] Runeson, S. et Frykholm, G. *Kinematic specification of dynamics as an informational basis for person-and-action perception : Expectation, gender recognition, and deceptive intention*. Journal of Experimental Psychology : General, vol. 112, n° 4, page 585, 1983.
- [Runeson1994] Runeson, S. *Perception of biological motion : The KSD-principle and the implications of a distal versus proximal approach*. Perceiving events and objects, pages 383–405, 1994.
- [Salmela1979] Salmela, J. et Fiorito, P. *Visual cues in ice hockey goaltending*. Canadian journal of applied sport sciences, vol. 4, pages 56–59, 1979.
- [Savelsbergh1991] Savelsbergh, G., Whiting, H. et Bootsma, R. *Grasping tau*. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, vol. 17, n° 2, page 315, 1991.
- [Savelsbergh2002] Savelsbergh, G., Williams, A., der kamp, J. V. et Ward, P. *Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers*. Journal of Sports Sciences, vol. 20, n° 3, pages 279–287, 2002.
- [Schütz-Bosbach2007] Schütz-Bosbach, S. et Prinz, W. *Perceptual resonance : action-induced modulation of perception*. Trends in Cognitive Sciences, vol. 11, n° 8, pages 349–355, 2007.
- [Scott1998] Scott, D., Scott, L. et Howe, B. *Training Anticipation for Intermediate Tennis Players*. Behavior Modification, vol. 22, n° 3, page 243, 1998.

- [Sebanz2009] Sebanz, N. et Shiffrar, M. *Detecting deception in a bluffing body : The role of expertise*. Psychonomic bulletin & review, vol. 16, n° 1, pages 170–175, 2009.
- [Sedgeman1994] Sedgeman, R., Goldie, P. et Iansek, R. *Development of a measure of turning during walking*. In Advancing rehabilitation : Proceedings of the inaugural conference of the faculty of health sciences. La Trobe University, pages 26–31, 1994.
- [Shank1987] Shank, M. et Haywood, K. *Eye movements while viewing a baseball pitch*. Perceptual and Motor Skills, vol. 64, n° 3, pages 1191–1197, 1987.
- [Sheridan1992] Sheridan, T. *Musings on telepresence and virtual presence*. In Papers from SRI's 1991 Conference on Virtual Reality on Virtual worlds : real challenges : real challenges, pages 55–65. Meckler Corporation, 1992.
- [Shim2005] Shim, J., Carlton, L., Chow, J. et Chae, W. *The use of anticipatory visual cues by highly skilled tennis players*. Journal of Motor Behaviour, vol. 37, n° 2, pages 164–75, 2005.
- [Shim2006] Shim, J., Carlton, L. et Kwon, Y. *Perception of kinematic characteristics of tennis strokes for anticipating stroke type and direction*. Research Quarterly for Exercise and Sport, vol. 77, n° 3, pages 326–339, 2006.
- [Simons1999] Simons, D. et Chabris, C. *Gorillas in our midst : Sustained inattention blindness for dynamic events*. PERCEPTION-LONDON-, vol. 28, pages 1059–1074, 1999.
- [Singer1994] Singer, R., Cauraugh, J., Chen, D., Steinberg, G., S.G.Frehlich et Wang, L. *Training mental quickness in beginning/intermediate tennis players*. The Sport Psychologist, vol. 8, n° 3, pages 305–318, 1994.
- [Singer1996] Singer, R., Cauraugh, J., Chen, D., Steinberg, G. et S.G.Frehlich. *Visual search, anticipation, and reactive comparisons between highly-skilled and beginning tennis players*. Journal of Applied Sport Psychology, vol. 8, n° 1, pages 9–26, 1996.
- [Slater1993] Slater, M. et Usoh, M. *Presence in immersive virtual environments*. In Conference, I., éditeur, Virtual Reality Annual International Symposium, pages 90–96, 1993.
- [Slater1996] Slater, M., Linakis, V., Usoh, M. et Kooper, R. *Immersion, presence and performance in virtual environments : An experiment with tri-dimensional chess*. ACM Virtual Reality Software and Technology (VRST), pages 163–172, 1996.
- [Slater1999] Slater, M. *Measuring Presence : A Response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire*. Presence, vol. 8, n° 5, pages 560–565, 1999.
- [Slocum1962] Slocum, D. et Bowerman, W. *The biomechanics of running*. Clinical orthopaedics, vol. 23, n° 1, pages 39–45, 1962.

- [Starkes1993] Starkes, J. et Allard, F. Cognitive issues in motor expertise. 1993.
- [Steuer1992] Steuer, J. *Defining Virtual Reality : Dimensions Determining Telepresence*. The Journal of Communication, vol. 42, n° 4, pages 73–93, 1992.
- [Stevenage1999] Stevenage, S., Nixon, M. et Vince, K. *Visual analysis of gait as a cue to identity*. Applied Cognitive Psychology, vol. 13, n° 6, pages 513–526, 1999.
- [Stuart-Fox2005] Stuart-Fox, D. *Deception and the origin of honest signals*. Trends in Ecology & Evolution, vol. 20, n° 10, pages 521–523, 2005.
- [Sutherland1968] Sutherland, I. *A head-mounted three dimensional display*. Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, vol. 33, pages 757–764, 1968.
- [Tarr2002] Tarr, M. et Warren, W. *Virtual reality in behavioral neuroscience and beyond*. Nature Neuroscience, vol. 5, n° supp, pages 1089–1092, 2002.
- [Teu2006] Teu, K., Kim, W., Fuss, F. et Tan, J. *The analysis of golf swing as a kinematic chain using dual Euler angle algorithm*. Journal of Biomechanics, vol. 39, n° 7, pages 1227–1238, 2006.
- [Troje2002] Troje, N. *Decomposing biological motion : A framework for analysis and synthesis of human gait patterns*. Journal of vision, vol. 2, n° 5, 2002.
- [Troje2005] Troje, N., Westhoff, C. et Lavrov, M. *Person identification from biological motion : Effects of structural and kinematic cues*. Attention, Perception, & Psychophysics, vol. 67, n° 4, pages 667–675, 2005.
- [Turvey1992] Turvey, M. *Ecological foundations of cognition : Invariants of perception and action*. 1992.
- [Turvey1995] Turvey, M., Shaw, R., Solso, R. et Massaro, D. *Toward an ecological physics and a physical psychology*. The science of the mind : 2001 and beyond, pages 144–169, 1995.
- [Tyldesley1982] Tyldesley, D., Bootsma, R. et Bomhoff, G. *Skill level and eye movement patterns in a sport oriented reaction time task*. Motor learning and movement behavior : Contribution to learning in sports, pages 290–296, 1982.
- [Usoh2000] Usoh, M., Catena, E., Arman, S. et Slater, M. *Presence questionnaires in reality*. Presence : Teleoperators and Virtual Environments, vol. 9, n° 5, pages 497–503, 2000.
- [Vallis2001] Vallis, L., Patla, A. et Adkin, A. *Control of steering in the presence of unexpected head yaw movements : Influence on sequencing of subtasks*. Experimental brain research, vol. 138, n° 1, pages 128–134, 2001.
- [Vermersch2000] Vermersch, P. *Conscience directe et conscience réfléchie*. Intellectica, vol. 2, n° 31, pages 269–311, 2000.

- [Vianin1995] Vianin, P. *La perception de distances virtuelles pour un observateur mobile : approche développementale*. Thèse, Projet de thèse FAPSE - Université de Genève, 1995.
- [Vickers1992] Vickers, J. *Gaze control in putting*. Perception, vol. 21, n° 1, pages 117–132, 1992.
- [Vickers1996] Vickers, J. *Control of visual attention during the basketball free throw*. 1996.
- [Vickers1997] Vickers, J. et Adolphe, R. *Gaze behaviour during a ball tracking and aiming skill*. International Journal of Sports Vision, vol. 4, n° 1, pages 18–27, 1997.
- [Vignais2009] Vignais, N., Bideau, B., Craig, C., Brault, S., Multon, F., Delamarche, P. et Kulpa, R. *Does the level of graphical detail of a virtual handball thrower influence a goalkeeper's motor response ?* Journal of Sports Science and Medicine, vol. 8, pages 501–508, 2009.
- [Vignais2010] Vignais, N., Kulpa, R., Craig, C., Brault, S., Multon, F. et Bideau, B. *Influence of the Graphical Levels of Detail of a Virtual Thrower on the Perception of the Movement*. Presence : Teleoperators and Virtual Environments, vol. 19, n° 3, pages 243–252, 2010.
- [Walk1984] Walk, R. et Homan, C. *Emotion and dance in dynamic light displays*. Bulletin of the Psychonomic Society, 1984.
- [Wall2000] Wall, J., Bell, C., Campbell, S. et Davis, J. *The Timed Get-up-and-Go test revisited : measurement of the component tasks*. Development, vol. 37, n° 1, 2000.
- [Ward2002] Ward, P., Williams, A. et Bennett, S. *Visual search and biological motion perception in tennis*. Research Quarterly for Exercise and Sport, vol. 73, n° 1, pages 107–112, 2002.
- [Warren1984] Warren, W. *Perceiving affordances : Visual guidance of stair climbing*. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, vol. 10, n° 5, page 683, 1984.
- [Warren1987] Warren, W. et Whang, S. *Visual guidance of walking through apertures : Body-scaled information for affordances*. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, vol. 13, n° 3, page 371, 1987.
- [Watson2010] Watson, G., Brault, S., Kulpa, R., Bideau, B., Butterfield, J. et Craig, C. *Judging the 'passability' of dynamic gaps in a virtual rugby environment*. Human Movement Science, vol. 30, n° 5, pages 952–956, 2010.
- [Williams1993] Williams, A. et Burwitz, L. *Advance cue utilization in soccer*. Science and football II, pages 239–244, 1993.
- [Williams1994] Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L. et Williams, J. *Visual search strategies of experienced and inexperienced soccer players*. Research Quarterly for Exercise and Sport, vol. 65, pages 127–135, 1994.

- [Williams1998] Williams, A. et Davids, K. *Visual search strategy, selective attention, and expertise in soccer*. Res Q Exerc Sport, vol. 69, n° 2, pages 111–28, 1998.
- [Williams1999] Williams, A., Davids, K. et Williams, J. Visual perception and action in sport. 1999.
- [Williams2000] Williams, A. *Perceptual skill in soccer : implications for talent identification and development*. Journal of Sports Sciences, vol. 18, n° 9, pages 737–750, 2000.
- [Williams2002] Williams, A., Ward, P., Knowles, J. et Smeeton, N. *Anticipation skill in a real-world task : measurement, training, and transfer in tennis*. Journal of Experimental Psychology : Applied, vol. 8, n° 4, pages 259–270, 2002.
- [Williams2003] Williams, A. et Ward, P. *Perceptual expertise in sport : Development*. In In A. Ericsson and J. Starks (Eds.), Expert performance in sports : Advances in research on sport expertise, Champaign, IL :Human Kinetics., pages 220–249, 2003.
- [Winter1993] Winter, D., MacKinnon, C., Ruder, G. et Wieman, C. *An integrated EMG/biomechanical model of upper body balance and posture during human gait*. Progress in brain research, vol. 97, pages 359–367, 1993.
- [Winter1995] Winter, D. *Human balance and posture control during standing and walking*. Gait & Posture, vol. 3, n° 4, pages 193–214, 1995.
- [Witmer1998] Witmer, B. et Singer, M. *Measuring Presence in Virtual Environments : A Presence Questionnaire*. Presence, vol. 7, n° 3, pages 225–240, 1998.
- [Yarbus1967] Yarbus, A. Eye Movements and Vision. Plenum Press, 1967.
- [Zatsiorsky1990] Zatsiorsky, V., Seluyanov, V. et Chugunova, L. *Methods of determining mass-inertial characteristics of human body segments*. Contemporary Problems of Biomechanics, pages 272–291, 1990.





# Table des figures

1.1	Killdeer simulant une aile cassée pour éliogner le danger de son nid . . .	7
1.2	Cheval de Troie . . . . .	8
1.3	Tentative de feinte de corps d'un attaquant lors d'un duel 1 vs. 1 face à un défenseur . . . . .	10
1.4	Résultats de la tâche de jugement en fonction des différents temps d'occultation (d'après Jackson et coll. 2006) . . . . .	11
1.5	Stimulus utilisé dans l'étude de Sebanz et Shiffrar [Sebanz2009] . . . .	12
1.6	Exemple de stimulus et résultats de Cañal Bruland et Schmidt (2009) .	13
1.7	Exemples de stimuli et résultats de Cañal Bruland et coll. (2010) . . .	14
1.8	Représentation d'un marcheur en PLD . . . . .	15
1.9	a) forme globale du mouvement b) forme locale du mouvement ([Lange2006]	15
1.10	Chronophotographie, E-J Marey . . . . .	18
1.11	Résultats témoignant de la stratégie de réorientation initié par la tête, puis suivie par le tronc et par le corps global, selon Vallis et coll. (2001)	20
1.12	Gardien novice . . . . .	23
1.13	Gardien expert . . . . .	23
1.14	Batteur de baseball équipé d'un oculomètre et sa centration visuelle . .	26
1.15	Représentation des différents temps d'occultation de l'étude de Jackson et coll. [Jackson2006] . . . . .	27
1.16	Représentation des différents niveaux de dégradation des études de Vignais et coll. [Vignais2009, Vignais2010] . . . . .	28
1.17	Affordance suggérée par un intervalle entre deux joueurs au rugby . . .	31
1.18	Flux optique pour un observateur en translation (Gibson, 1986) . . . .	32
1.19	Résultats de l'expérience de Warren et Whang 1987, montrant le point critique de l'affordance.... . . . .	33
1.20	Résultats de l'expérience de Watson et coll. (2010) . . . . .	34
1.21	Système HMD . . . . .	36

1.22	Immersion du gardien de but de handball dans l'étude de Bideau et coll. [Bideau2010]	42
1.23	Schéma de synthèse de notre approche	43
2.1	Schéma de synthèse de notre approche : Etape 1	47
2.2	Modèle de placement des marqueurs.	51
2.3	Capture de mouvement : Caméra Vicon MX, Sujet équipé de marqueurs, reconstruction du duel 1 vs. 1	51
2.4	Représentation schématique des différents appuis au cours de DM-R et de NDM-R.	53
2.5	Plans et axes de références du corps humain	54
2.6	Schématisation du calcul du mouvement de lacet de la tête, des épaules et du bassin	55
2.7	Comparaison graphique des différents paramètres étudiés lors des DM et NDM	57
2.8	Coefficients de corrélation et distances moyennes entre DM+, DM- et NDM	59
2.9	Initiation des réorientations des différents paramètres étudiés	60
2.10	Comparaisons statistiques des délais de réorientations à R1 entre DM et NDM	61
2.11	Comparaisons statistiques des délais de réorientations à R2-DM entre DM+ et DM-	62
3.1	Schéma de synthèse de notre approche : Etape 2	65
3.2	Occultations temporelles	67
3.3	Détermination des occultations temporelles	68
3.4	Figure 2. Méthodologie générale : de la capture de mouvement à la tâche de jugement en environnement virtuel.	69
3.5	Processus d'animation	70
3.6	Stade 3D	71
3.7	HMD - Cybermind Visette pro	71
3.8	Dynamique de la feinte de corps	73
3.9	Exemple de calcul du tau pour le CM	75
3.10	Regressions logistiques et valeurs critiques (CV)	76
3.11	Détermination des CV et des ( $t_{CV}$ )	76
3.12	Pourcentage de bonnes réponses de la seconde expérimentation	77
3.13	estimateTime	79
4.1	Schéma de synthèse de notre approche : Etape 3	83

4.2	Système de contrôle du HMD embarqué sur le sujet . . . . .	85
4.3	Environnement et matériel d'immersion . . . . .	86
4.4	Sujet équipé pour l'expérimentation 3 . . . . .	87
4.5	Effets de l'expertise sur l'initiation du mouvement et le déplacement du défenseur . . . . .	89
4.6	Illustration d'un mouvement de défense d'un expert face à un DM . . .	90
4.7	Tableau récapitulatif des résultats de l'étude 3 . . . . .	91
5.1	Résultats de la modélisation de la prise de décision des experts . . . . .	98
5.2	Résultats de la modélisation de la prise de décision des novices . . . . .	98
5.3	Capture de mouvements utilisées pour l'animation du défenseur interactif	99
5.4	Illustration du matériel d'immersion . . . . .	100
5.5	Illustration de la mise en place d'une situation immersive de football . .	101
6.1	Couplage perception-action et performance . . . . .	105
6.2	Résonance motrice et sensorielle . . . . .	108
6.3	Capture de mouvements de feinte en Boxe Française . . . . .	116
6.4	Experience de Simons et Chabris [Simons1999] . . . . .	116



# Liste des tableaux

2.1	Caractéristiques anthropométriques de la population de l'étude 1 . . . .	49
2.2	Repères anatomiques pour le placement des marqueurs externes. . . .	50



# Publications

## 6.5 Publications liées à la thèse

### **Articles internationaux dans revues indexées :**

- Brault, S., Bideau, B., Craig, C., Kulpa, R. Balancing deceit and disguise : How to successfully fool the defender in a 1 vs. 1 situation in rugby. *Human Movement Science*, vol. 29, n° 3, pages 412–425, 2010.
- Watson, G., Brault, S., Kulpa, R., Bideau, B., Butterfield, J., Craig, C. Judging the 'passability' of dynamic gaps in a virtual rugby environment. *Human Movement Science*, vol. 30, n° 5, pages 942-956, 2010.
- Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., Craig, C. Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 30, n° 2, pages 14–21, 2010.

### **Abstract dans revues indexées :**

- Brault, S., Kulpa, R., Bideau, B., Craig, C. 1 vs. 1 : How do we anticipate the direction in which a player will run ? *International Journal of Sport Psychology*, vol. 41, pages 50-51, 2010. (2nd International Congress of Complex Systems in Sport and 10th European Workshop on Ecological Psychology).

### **Article internationaux dans revues non-indexées :**



- Brault, S., Bideau, B., Kulpa, R., Craig, C. Detecting deceptive movement in 1 vs. 1 based on global body displacement of a rugby player. *The International Journal of Virtual Reality*, vol. 8, n°4, pages 31-36, 2009. Virtual Reality International Conference (VRIC 09) - Laval Virtual, Laval, France.

### **Congrès internationaux :**

- Brault, S., Kulpa, R., Craig, C., Duliscouët, L., Bideau, B. Feinte de corps au rugby : de l'analyse perceptive et motrice de l'activité du défenseur à la proposition d'un simulateur d'entraînement pour l'attaquant. Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives (ACAPS), Rennes, France, 2011.
- Craig, C., Watson, G., Brault, S., Kulpa, R., Bideau, B. Using virtual reality to study decision-making in sport. 11th European Workshop on Ecological Psychology, Fréjus, France, 2010.
- Brault, S., Bideau, B., Kulpa, R., Watson, G., Craig, C. Detecting deceptive movements in rugby : an expert vs. novice player paradigm in an immersive interactive virtual reality environment. European Workshop On Movement Sciences (EWOMS), Lisbon, Portugal, 2009.
- Brault, S., Bideau, B., Kulpa, R., Craig, C. Detecting deceptive movement in 1 vs. 1 based on global body displacement of a rugby player. Virtual Reality International Conference (VRIC 09) - Laval Virtual, Laval, France, 2009.
- Watson, G., Brault, S., Bideau, B., Kulpa, R., Butterfield, J., Craig, C. Heads up rugby : studying action in response to changing visual information. European Workshop On Movement Sciences (EWOMS), Lisbon, Portugal, 2009.
- Brault, S., Kulpa, R., Bideau, B., Craig, C. 1 vs. 1 : How do we anticipate the direction in which a player will run ? 2nd International Congress of Complex Systems in Sport and 10th European Workshop on Ecological Psychology, Madeira, Portugal, 2008.

### **Congrès nationaux :**

- Brault, S., Bideau, B., Kulpa, R., Watson, G., Craig, C. Pourquoi l'expert est-il meilleur ? Analyse des capacités d'anticipation de mouvement de feinte virtuel en rugby. 4ème journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle (AFRV), Lyon, France, 2009.

## 6.6 Autres publications

### Articles internationaux dans revues indexées :

- Young, W., Ferguson, S., Brault, S., et Craig, C. Assessing and training standing balance in older adults : A novel approach using the 'Nintendo Wii' Balance Board. *Gait & Posture*, vol. 33, n° 2, pages 303-305, 2011.
- Vignais, N., Kulpa, R., Craig, C., Brault, S., Multon, F., Bideau, B. Influence of the graphical levels of detail of a virtual thrower on the perception of the movement. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 19, n°3 pages 243-252, 2010.
- Vignais, N., Bideau, B., Craig, C., Brault, S., Multon, F., Delamarche, P., Kulpa, R. Does the level of graphical detail of a virtual handball thrower influence a goal-keeper's motor response ? *Journal of Sports Science and Medicine*, vol. 8, pages 501-508, 2009.

### Article internationaux dans revues non-indexées :

- Vignais, N., Bideau, B., Kulpa, R., Craig, C., Brault, S., Multon, F. Virtual environments for sport analysis : Perception-action coupling in handball goalkeeping. *The International Journal of Virtual Reality*, vol. 8, n°4, pages 43-48, 2009. *Virtual Reality International Conference (VRIC 09)* - Laval Virtual, Laval, France, 2009.

### Congrès internationaux :

- Vignais, N., Bideau, B., Kulpa, R., Craig, C., Brault, S., Multon, F. Handball goalkeeping and the analysis of the perception-action coupling in virtual environment. *Virtual Reality and Graphical Interaction*, Rennes, France, 2009.
- Vignais, N., Bideau, B., Kulpa, R., Craig, C., Brault, S., Multon, F. Virtual environments for sport analysis : Perception-action coupling in handball goalkeeping. *Virtual Reality International Conference (VRIC 09)* - Laval Virtual, Laval, France, 2009.

### Congrès nationaux :

- Vignais, N., Kulpa, R., Criag, C., Brault, S., Bilavarn, J., Multon, F., Bideau, B. Influence du niveau de détails d'un mouvement de tir virtuel sur la perception des gardiens de but de handball. 2ème journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle (AFRV), Marseille, France, 2007.





## Résumé

Ce travail est issu de plusieurs constats. Premièrement, il est admis aujourd'hui que la capacité à percevoir et à retirer les informations visuelles les plus pertinentes d'une action adverse est un facteur déterminant de la performance sportive et ce d'autant plus si l'action est incertaine et faussée. Le second constat, découlant du premier, est que la tromperie est mise en jeu dans bon nombre d'interactions humaines, mais qu'elle est particulièrement déterminante et prépondérante dans le cadre des stratégies sportives. Enfin, le dernier constat est que l'exploration de la performance sportive, pour des raisons méthodologiques ou théoriques, ne permet pas dans certains cas d'expliquer pourquoi un expert est meilleur qu'un novice.

L'objectif de notre travail est de comprendre ces déterminants (perceptivo-moteurs) de l'expertise lors d'un duel 1 vs. 1 en rugby présentant une tentative de feinte de l'attaquant. Nous résumons ce travail en trois questions concrètes auxquelles nous répondons: Comment réaliser une feinte de corps en rugby? Comment la détecter? Comment y faire face?

La première étude s'attache à analyser les différences biomécaniques observables entre un mouvement de simple changement de direction et un mouvement de feinte de corps en rugby. La seconde étude, en immersion virtuelle, met en lien les informations prospectives émanant des mouvements de feinte et la prise de décision du défenseur de rugby (expert ou novice). Enfin, en se basant sur une méthodologie quasi-similaire, la troisième étude vient immerger les participants dans une situation complète de défense, nous permettant d'explorer leur stratégie perceptivo-motrice.

L'ensemble de ce processus nous permet de témoigner de l'effet de l'expertise mais surtout d'expliquer pourquoi l'expert est meilleur en dressant les différences de stratégie perceptivo-motrice le caractérisant. Si les implications concernent majoritairement le domaine du rugby (connaissances fondamentales et entraînement), elles présentent au sens plus large, un éclairage justifié et démontré des processus mis en jeu lors de toute interaction, humaine ou animal, sollicitant la tromperie. Nous en sommes persuadés; un prédateur animal, un joueur de poker, un défenseur de basket... se doivent de présenter des stratégies quasi-similaires pour détecter l'intention de bluff chez l'opposant.

## Abstract

This work comes from several observations. First, it is now accepted that the ability to pick up and attend to the most relevant visual information from an opponent action is a determinant of performance and even more so if the action is uncertain and deceptive. The second observation, deriving from the first, is that deception is put into play in many human interactions, and it is particularly crucial in sports strategies. Finally the last observation is that exploration of athletic performance, for methodological or theoretical reasons, can't explain, in certain cases, why an expert is better than a novice.

The aim of our work is to understand these determinants (perception and action) of expertise in a 1 vs. 1 duel in rugby, presenting an attempt of deceptive movement by the attacker. We summarize this work in three specific questions we answer: How to make a deceptive movement? How to detect a deceptive movement? How to answer to a deceptive movement?

The first study aims to analyse the biomechanical differences between a movement with a simple change of direction and a deceptive movement in rugby. The second study, using virtual reality, links the prospective information of the attacker's movement and the decision making of the rugby defender (expert or novice).

Finally, based on a quasi-similar methodology, the third study immerses the participants in a situation requiring a complete action of defence, allowing us to explore the perception and action strategies of the participants.

This whole process allows us to demonstrate the effect of expertise but also to explain why experts are better by drawing up the differences characterizing them in terms of perception and action strategies.

If the implications mainly concern the field of rugby (basic knowledge and training), they are also of great interest for any interaction, human or animal, involving deception. We are convinced, a predatory animal, a poker player, a defender of basketball ... must present similar strategies to detect the deceptive intention of an opponent.



**Université Rennes 2**  
Place du recteur Henri Le Moal  
CS 24307  
35043 Rennes cedex  
Tél. : +33 (0)2 99 14 10 00